

00381

41



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN A PARTIR  
DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

DOCTOR EN CIENCIAS  
(BIOLOGÍA)

PRESENTA

M. EN C. MARÍA DEL CARMEN SÁNCHEZ MORA

DIRECTOR DE TESIS: DRA. ROSAURA RUIZ GUTIÉRREZ



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.

## LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN A PARTIR DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ESTUDIANTES

### RESUMEN

### PRÓLOGO viii

### PRIMERA PARTE 1

#### I. INTRODUCCIÓN 5

#### II. EL CONOCIMIENTO PREVIO SOBRE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN 9

II.1 EL ENFOQUE DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS 9

II.2 LOS ORÍGENES DE LAS IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE EVOLUCIÓN 12

II.3 LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS MÁS COMUNES SOBRE EVOLUCIÓN 14

II.4 UNA CLASIFICACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA EVOLUCIÓN 18

#### III. LA APLICACIÓN DE LAS TEORIAS SOBRE EL CAMBIO CONCEPTUAL A LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCION POR SELECCIÓN NATURAL 23

III.1 LAS INTERPRETACIONES SOBRE EL CAMBIO CONCEPTUAL 24

III.2 LAS CONDICIONES PARA QUE SE PRODUZCA EL CAMBIO CONCEPTUAL 26

III.3 LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS SOBRE CAMBIO CONCEPTUAL 27

III.4 LA MEDICIÓN DEL CAMBIO CONCEPTUAL 29

III.5 LA DINÁMICA DEL CAMBIO CONCEPTUAL 31

---

IV.	LOS TEMAS QUE DEBE ABARCAR LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA EVOLUTIVA	33
IV.1	LA ENSEÑANZA ESCOLAR DE LAS CIENCIAS	34
IV.2	ALGUNOS PUNTOS QUE REQUIEREN TRATAMIENTO ESPECIAL AL ENSEÑAR LA TEORÍA DARWINISTA	35
IV.3	OTROS CONCEPTOS QUE HAY QUE ABORDAR CUIDADOSAMENTE	37
IV.4	DOS TEMAS EVOLUTIVOS QUE SUELEN CAUSAR POLÉMICA EN CLASE	41
IV.5	ELEMENTOS BÁSICOS QUE DEBERÍAN INCLUIRSE EN LOS PROGRAMAS PARA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN	43
IV.6	EL TEMA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN EN LOS PROGRAMAS ESCOLARES VIGENTES HASTA EL AÑO 2000	48
V.	ESTRATEGIAS DIDACTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORIA DE LA EVOLUCION	51
V.1	EL MAESTRO FRENTE A LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS	51
V.2	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN	53
VI.	EL APOYO DE LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL	61
VI.1	UNA DEFINICIÓN DE ANALOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS	62
VI.2	EL PAPEL DE LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA	63
VI.3	LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ANALOGÍAS AL CAMBIO CONCEPTUAL	65
VII.	CONCLUSION DE LA PRIMERA PARTE	69
	SEGUNDA PARTE	73
VIII.	OBJETIVOS	73
IX.	METODOLOGÍA GENERAL DE ESTE TRABAJO	75

---

<b>X.</b>	<b>PROPUESTA DE UNA PRUEBA PARA EVALUAR EL APRENDIZAJE DE LA EVOLUCIÓN</b>	<b>79</b>
X.1	ANTECEDENTES	79
X.2	CONCEPTOS TOMADOS EN CUENTA PARA ELABORAR LAS PRUEBAS.	79
X.3	INCLUSIÓN DE LOS PROBLEMAS MÁS COMUNES QUE TIENEN LOS ESTUDIANTES	80
X.4	PROPUESTA ESPECÍFICA DE UNA PRUEBA	81
X.5	JUSTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PREGUNTAS DE LA PRUEBA.	88
X.6.	LAS RESPUESTAS A LA PRUEBA.	90
<b>XI.</b>	<b>DESARROLLO DE UNA PRUEBA PILOTO</b>	<b>93</b>
XI.1.	RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO	94
XI.2.	LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS ENCONTRADAS.	95
<b>XII.</b>	<b>UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA</b>	<b>97</b>
XII.1	LA METODOLOGÍA GENERAL DE ENSEÑANZA	97
XII.2	DETALLE DE LAS METODOLOGÍAS SEGUIDAS EN LAS INTERVENCIONES EDUCATIVAS	99
<b>XIII.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>109</b>
XIII.1	RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL EXAMEN	109
XIII.2	VALIDACIÓN DEL EXAMEN APLICADO.	112
XIII.3	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS DURANTE LAS CLASES.	116
XIII.4	RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS DE LOS EXÁMENES.	120
XIII.5	RESULTADOS DE LA TERCERA PARTE DEL EXAMEN.	127
XIII.6	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SEGUIMIENTO CONCEPTUAL.	132
XIII.7.	CÁLCULO PARA DETERMINAR LOS CAMBIOS EN LAS RESPUESTAS DE LAS PREGUNTAS Y LOS PROBLEMAS.	140
XIII.8.	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS.	150
<b>XIV.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>155</b>
XIV.1	SOBRE EL DISEÑO DE LA PRUEBA APLICADA.	155

---

XIV.2	DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS	156
XIV.3	DISCUSIÓN SOBRE LA METODOLOGÍA SEGUIDA EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN	160
XIV.4	DISCUSIÓN SOBRE LA METODOLOGÍA SEGUIDA PARA BUSCAR EL CAMBIO CONCEPTUAL	163
XIV.5	DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO CONCEPTUAL.	164
XIV.6	CONSIDERACIONES FINALES	167
XV.	CONCLUSIONES GENERALES	171
	RECuento FINAL	177
	BIBLIOGRAFÍA	179
	APÉNDICES	197
	APÉNDICE I	197
	PROGRAMAS DE ESTUDIO	197
	APÉNDICE II	201
	POSTPRUEBA	201
	APÉNDICE III	207
	PRUEBAS DE HIPÓTESIS	207
	APÉNDICE IV	215
	APOYOS DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN	215
	APÉNDICE V	217
	ANALOGÍAS	217

# Agradecimientos

---

*Hacer trabajos que toman largo tiempo como los de doctorado, necesariamente implica la ayuda de muchas personas. Me es imposible mencionar a cada una de ellas; a aquéllos que me apoyaron en forma indirecta, les agradezco su intervención.*

*De los que me apoyaron directamente dejo aquí constancia:*

*A mi tutora Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez por haber confiado en mí.*

*A mi comité tutorial, Dr. Miguel Ángel Campos, y Maestra Sara Gaspar por su asesoría y a la Dra. Edna Suárez Díaz por sus enriquecedoras sugerencias.*

*A los jurados Dr. José Antonio Chamizo Guerrero, Dr. Luis Felipe Jiménez García, Dr. Juan Núñez-Farfán, Dra. Ma. de la Paz Ramos Lara y Dr. Jesús Valdés Martínez, por haberme dedicado su tiempo.*

*Al Act. Jesús Gómez Escorza por su larga y paciente asesoría en el manejo de los datos.*

*A la Sra. Ma. Teresa Ramírez Bustamante, por su ayuda en la edición del trabajo.*

*A Ana Ma. Sánchez Mora por las innumerables lecturas, correcciones y sugerencias que hizo a los exámenes tutoriales y a las diferentes versiones de la tesis.*

*A la Sra. Alicia Azcona Cortés por su continua ayuda en las distintas ediciones del documento, pero sobre todo por su dedicación, optimismo y entusiasmo sin límites.*

*Y a mi esposo César Herrera, por su apoyo constante y su infinita paciencia.*

*A todos ellos les debo que este trabajo llegara a su fin, al punto de que puedo plasmar ahora estas palabras de agradecimiento.*

# Resumen

---

Desde la década de los 80 numerosos estudios examinan la manera en que se pueden cambiar las concepciones alternativas de los estudiantes, para lo cual utilizan como marco teórico algún modelo de cambio conceptual. Uno de los modelos más utilizados ha sido el de Posner, Strike, Hewson y Gertson (1982), en el que se propone que las concepciones alternativas de los estudiantes se pueden transformar en concepciones científicas cuando se somete a las primeras a un cuestionamiento profundo en el que al provocar insatisfacción con los conocimientos previos, el aprendiz encontrará plausibles y fructíferas a las nuevas concepciones planteadas por el maestro.

Los estudios posteriores sobre cambio conceptual han mostrado las dificultades metodológicas que implica su búsqueda, sobre todo porque se requiere que los estudiantes encuentren inteligible la nueva propuesta y sean capaces de aplicarla en la práctica.

En el caso de la enseñanza en la biología de la evolución por selección natural, son particularmente abundantes las concepciones alternativas con las que el estudiante se enfrenta a un tema que, según reporta la literatura, es muy difícil de transmitir especialmente a aquéllos que aún no alcanzan la etapa de operaciones formales.

En un estudio inicial se encontraron las principales concepciones alternativas de los estudiantes mexicanos entre los 12 y los 18 años sobre el tema de evolución por selección natural, mismas que corresponden a las citadas por la abundante literatura. Dichas concepciones se refieren principalmente al tema de la variación biológica, al origen de estas variaciones, al concepto de evolución y al tema de la adaptación biológica.

Una vez localizadas las concepciones alternativas, se procedió a diseñar un examen que cumpliera con las siguientes características: reflejar las concepciones alternativas de los estudiantes y contar con una metodología para evaluar el grado de conocimiento darwiniano (científico) y el alternativo.

Una parte importante de este trabajo fue encontrar una metodología para poder evaluar el cambio conceptual, como aumento de concepciones darwinianas respecto a las alternativas entre pre y postpruebas.

Este examen se aplicó a estudiantes de secundaria, CCH, preparatoria privada y de la UNAM, y estudiantes de la Facultad de Ciencias, en el inicio y fin de la carrera de biología. Se encontró que las calificaciones que reflejan el conocimiento del tema de la evolución por selección natural arrojan un promedio menor a 5 (en escala de 0 a 10) en todos los niveles escolares, con excepción de los estudiantes de los últimos semestres de la carrera.

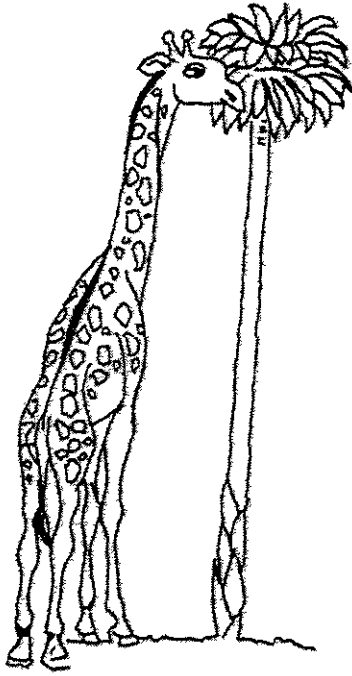
De acuerdo con lo anterior, se procedió a aplicar en el 6° semestre del sistema CCH una metodología de enseñanza del tema basada en los lineamientos de Posner y colaboradores, con un enfoque histórico y con apoyo en ejemplos, ilustraciones y analogías. Para definir el nivel inicial de la instrucción se hizo una investigación en la secundaria que mostró que la enseñanza de la evolución por selección natural debe iniciarse dando a los alumnos una serie de antecedentes, sin los cuales se dificulta la comprensión del tema.

Los resultados han mostrado que en general en la población joven, entre los 12 y los 20 años, hay una gran dificultad en el manejo del concepto de evolución por selección natural, lo que se debe a un gran número de factores, desde el contextual, la falta de antecedentes académicos, la escasa preparación de los maestros y la influencia que el léxico común y los medios de comunicación tienen sobre el manejo del tema.

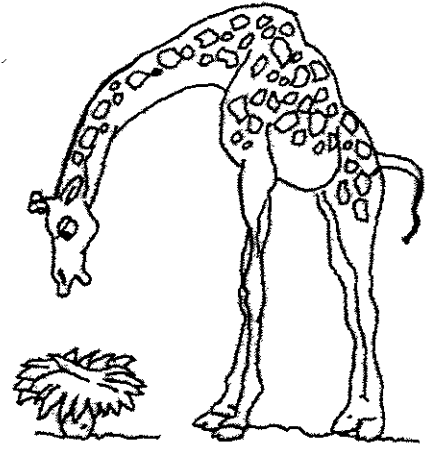
Se encontró que los jóvenes de secundaria de entre 12 y 15 años son capaces de manejar el concepto de evolución por selección natural aun con mejores resultados que los alumnos del CCH, quienes parecen estar negativamente influidos por la enseñanza previa del tema.

La metodología empleada en este trabajo permite cuantificar las concepciones alternativas y definir su calidad, lo que posibilita hacer un seguimiento del aprendizaje y determinar la efectividad de distintos métodos de enseñanza. Con ello se ha podido ver que aunque el estudiante logra aumentar su enfoque darwiniano con otras metodologías diferentes a las tradicionales, las concepciones alternativas sobre el tema suelen persistir aun después de haber cursado la carrera de biología. Lo que parece ocurrir en la práctica es que los estudiantes bien preparados son capaces de hacer una discriminación de significados.

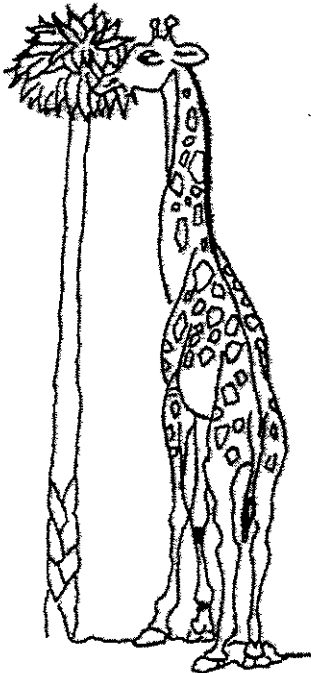




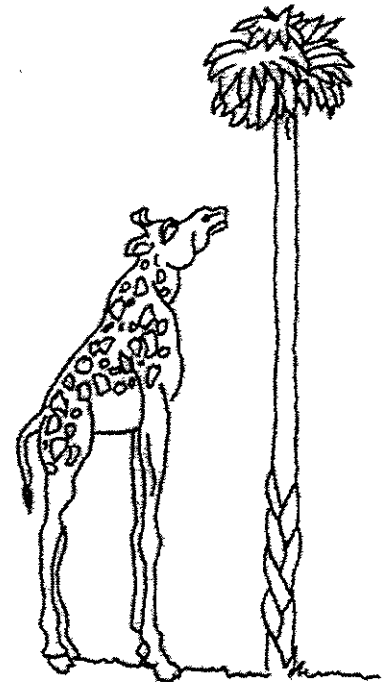
- 1) -Oye papá, ¿por qué las palmeras son tan altas?  
- Es para que las jirafas puedan comerlas, mi niño, porque...



- 2) ...si las palmeras fueran bajitas, las jirafas se verían en problemas.



- 3) - Pero entonces, papá, ¿por qué las jirafas tienen el cuello tan largo?  
- Bueno, es para que puedan comer las palmeras, mi niño porque...



- 4) ...si las jirafas tuvieran el cuello corto, tendrían aún más problemas.

(Tomado del Album de Caran d' Ache, "Les petits pourquoi de M. Toto")

# Prólogo

---

La idea de realizar esta tesis partió de dos problemas relacionados con la enseñanza de la biología; uno es la dificultad que encontré en la práctica docente para transmitir la teoría evolutiva en niveles preuniversitarios, y otro es el escaso manejo que tienen de la teoría de la evolución por selección natural una gran mayoría de los estudiantes universitarios que por lo menos han cursado la mitad de la carrera de biología y con los que tuve la oportunidad de trabajar en el ámbito de la divulgación de la ciencia<sup>1</sup>, en especial en la traducción del lenguaje científico al público no especializado. De lo anterior surgió la preocupación por conocer con todo detalle el conocimiento real que los jóvenes tienen sobre la teoría evolutiva y a la vez confirmó mi intuición de que deberían existir mejores formas para transmitirles este tema que se considera fundamental dentro de la biología contemporánea.

La primera sorpresa al revisar la bibliografía fue encontrar una gran cantidad de literatura sobre el tema, lo que me mostró que comparto la misma preocupación con investigadores de diferentes países. Aunque esta tesis fue elaborada entre 1995 y 1999 e incluye una revisión extensa de la literatura, seguramente hoy han seguido apareciendo nuevos resultados, porque la investigación educativa sobre la enseñanza de la teoría de la evolución aún tiene mucho que ofrecer tanto al investigador como al docente.

Dado que considero que para cursar adecuadamente la carrera de biología, el estudiante debería llegar a ésta con un mínimo de conceptos correctos acerca de la teoría darwiniana, en este trabajo doy preferencia al bachillerato, nivel educativo previo al universitario, de tal manera que la estructura y contenidos de esta tesis intentan servir de guía didáctica a los maestros de este nivel; esto justifica el lenguaje utilizado, los ejemplos elegidos y el grado de profundidad de los conceptos tratados. Por tanto, el maestro de biología de bachillerato encontrará en esta tesis una síntesis de los problemas más comunes que se suelen suscitar en el aula al enseñar la teoría darwiniana.

Para facilitar la lectura de este trabajo, lo he dividido en dos partes; en la primera expongo los aspectos teóricos sobre la enseñanza de la teoría de la evolución por selección natural y propongo una metodología de enseñanza; en la segunda, pruebo en el aula dicha metodología.

---

<sup>1</sup> Estos estudiantes habían cursado la carrera de biología con un plan de estudios donde la materia de Evolución era optativa. El nuevo plan de estudios, vigente desde 1997, tiene un enfoque evolutivo, y añade obligatoriamente esta materia.

Los lineamientos teóricos que expongo en el cuerpo de esta tesis están basados en la propuesta constructivista del aprendizaje significativo de Ausubel, en la línea de investigación sobre concepciones alternativas en la enseñanza de las ciencias y en el marco teórico del cambio conceptual. Sobre éste último me baso en el modelo de Posner *et al* (1982) y, al igual que muchos autores, lo empleo en la enseñanza de la teoría evolutiva. Pero aunque de dicho modelo aplico en el aula las condiciones que propone para alcanzar el cambio conceptual, me aboco con particular énfasis a la búsqueda de la inteligibilidad de los conceptos científicos, dado que considero que durante el aprendizaje de las ciencias, al ser introducidos los estudiantes a un nuevo mundo conceptual y simbólico, que no construyen por sí mismos, sino por la interacción con el material y con sus compañeros y maestros, requieren de ayuda para facilitar tal construcción.

Para ello se promueve en este trabajo la comprensión de las explicaciones científicas mediante el empleo de imágenes, ejemplos y analogías, que tengo la seguridad de que utilizan con frecuencia, aunque no siempre de manera sistemática, los maestros más experimentados.

Estos apoyos didácticos pueden llegar a formar parte de la ecología conceptual<sup>2</sup> del estudiante, que es la que provee el contexto en el que puede ocurrir un cambio conceptual; cambio que en este trabajo disto de ver con la “perspectiva lineal de la apropiación de una ciencia”, en la que el conocimiento previo es sustituido por uno nuevo, sino que parto de que el sujeto tiene diversos enfoques conceptuales sobre un mismo tema que a su vez dependen del contexto, es decir, de las circunstancias en las que se manifiesta el conocimiento.

Me baso en la idea de que la construcción sucesiva, individual y social de la realidad experiencial de los estudiantes tiene un efecto decisivo en la enseñanza de las ciencias. Tomo en cuenta que niños y jóvenes inician su formación científica escolar con su propio acervo de explicaciones sobre los fenómenos naturales, elaborado de sus experiencias con el mundo físico, social y cultural. Dado que en este trabajo muestro que tales explicaciones son a menudo incompatibles con las explicaciones de la ciencia establecida, propongo que constituyen el factor aislado más importante que dificulta el aprendizaje de los conceptos científicos, en este caso de la teoría de la evolución por selección natural. Es por eso que dedico particular atención a tales explicaciones, mismas que enumero y clasifico para facilitar su manejo a los maestros.

Finalmente, considero que las concepciones sobre la ciencia que el maestro posee rigen sus prácticas pedagógicas, de ahí que recalco la necesidad de que éste tome conciencia de sus **convicciones** sobre la naturaleza del conocimiento científico, sobre cómo éste se genera, sobre las **relaciones entre el conocimiento y la realidad** y entre las diferentes manifestaciones del saber científico, de modo que las aplique explícitamente en el aula.

---

<sup>2</sup> La ecología conceptual consiste en artefactos cognitivos como anomalías, analogías, metáforas, creencias epistemológicas, creencias metafísicas, conocimientos de otras áreas y concepciones rivales (Hewson y Thorley, 1989).

# La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes

---

## PRIMERA PARTE

Un gran número de investigadores en educación, de biólogos interesados en la enseñanza y de los teóricos más destacados de la biología, coinciden en que la teoría de la evolución no sólo es parte fundamental de la biología sino también una componente importante dentro de la cultura científica (Zuzovski, 1994). Por otro lado, se considera que el concepto de evolución es un organizador del conocimiento biológico y que dado su carácter unificador, debería ser uno de los primeros temas que se impartieran dentro de la materia de biología (Guillén, 1994).

Tomando en cuenta que dado que la evolución y el modelo darwiniano de selección natural juegan un papel central en la biología, para que los estudiantes adquieran una formación adecuada en esta materia, requieren de la comprensión básica de estos temas y de su marco conceptual (Trowbridge y Wandersee, 1994); lo mismo ocurre en los ámbitos de la educación no formal o simplemente en los medios de comunicación, donde si se pretende que el público adquiera o maneje una mínima cultura científica, la comprensión de la evolución debería ocupar un lugar importante.

Por lo que toca a la formación general de los estudiantes en biología, se ha insistido en incluir a la evolución en los programas escolares como “organizador previo”<sup>3</sup> (Ausubel et al. 1995), junto con temas que les permitan comprender la naturaleza y el proceder de la ciencia, ya que de otro modo se corre el riesgo de que los alumnos que no conocen el contenido epistemológico de la teoría evolutiva, tan sólo memoricen lo que el maestro desea escuchar y, con ello, se afecte su futura visión de la biología o se les restrinja el conocimiento acerca de la evolución biológica, que debería formar parte de los conocimientos mínimos que posea una persona culta.

---

<sup>3</sup> Los organizadores previos son materiales introductorios, que se presentan antes del material a ser aprendido, pero en un nivel más alto de abstracción, generalidad e inclusión que éste. (Ausubel et al, 1995).

El interés principal de tratar la evolución en los programas educativos es que, por lo menos, los estudiantes se apropien del modelo darwiniano y de algunos rudimentos de la llamada *síntesis evolutiva* así como que desarrollen la habilidad para usarlos en la interpretación de fenómenos biológicos, contra el objetivo escolar tradicional que consiste en acumular información descontextualizada.

Mucho se ha escrito sobre la conveniencia o no de enseñar el tema desde la secundaria, haciendo referencia a la falta de madurez intelectual de los estudiantes de ese nivel educativo, pero el caso es que cuando se enfrentan al tema, ya poseen conocimientos adquiridos por medios no formales (Engel y Wood, 1985), que se caracterizan por una fuerte carga de explicaciones teleológicas y lamarckianas y errores en los conceptos evolutivos básicos. Otros trabajos (entre ellos esta tesis), muestran la posibilidad de impartir tempranamente el tema de la evolución, aun con mejores resultados que al abordarlo hasta el bachillerato, donde tampoco se tiene la seguridad de que los alumnos hayan alcanzado el nivel de operaciones formales, requisito que muchos aducen para iniciar la enseñanza tardíamente (Lawson y Worsnop, 1992).

La forma en que se aborda la teoría evolutiva en los programas educativos puede ser un indicador de lo que está sucediendo en la escuela; igualmente la observación directa en el aula, los estudios como el realizado en esta tesis, o bien las inferencias indirectas a través de los contenidos de los textos de biología, ya que en general han sido elaborados por los propios maestros (Jiménez, 1994). Al revisarlos, es común encontrar serios errores conceptuales, al menos en el tema de la evolución por selección natural (Guillén, 1997) y, sobre todo, que en aras de ajustarse a los programas oficiales, abordan temarios inalcanzables en extensión y profundidad y que muchas veces son incomprensibles para los propios maestros. Del análisis de los libros de biología publicados en diferentes países (Swartz, Anderson y Swetz, 1994), se concluye también que no se está promoviendo el aprendizaje funcional o de transferencia, que predomina una orientación determinista, que no se realizan actividades complementarias, que se presenta una visión dogmática de la ciencia y que hay un completo desconocimiento de las ideas de los estudiantes; más aún, que hay un manejo inadecuado de las ideas clave de la teoría de la evolución por selección natural (Zuzovsky, 1994).

Al igual que lo que ocurre en los libros, podemos entonces suponer que al desarrollar el tema en el aula, los maestros tampoco incluyen actividades que promuevan la transferencia, que no explican correctamente las ideas básicas de Darwin, o que no toman en cuenta ni saben cómo explorar las dificultades a las que los alumnos se enfrentan en el tema de la evolución.

Aunque comúnmente la selección de contenidos curriculares en los niveles básicos, por lo menos en lo que a la biología concierne, se hace con la intención de proveer al estudiante de información lo más extensa posible, con miras a que ésta sea profundizada a medida que el estudiante avance en sus estudios, lo cierto es que de origen, los programas suelen estar cargados de información que el estudiante no logra asimilar.

Respecto al diseño de programas y en particular de aquéllos de biología que tratan el tema de la evolución, si tomamos en cuenta lo que Gutiérrez (1984) plantea, acerca de que dentro de la secuenciación de contenidos en un currículo "las variables fundamentales que condicionan el aprendizaje de conceptos no son las dependientes de la estructura de la disciplina, sino de las estructuras mentales del que aprende", habrá que empezar a considerar algunas de las

concepciones alternativas que poseen los estudiantes y que son ampliamente conocidas por los investigadores de la educación, como la dificultad con el concepto de variación y su origen, las explicaciones teleológicas, lamarckianas y antropomórficas; la ausencia de pensamiento poblacional, la idea de que la evolución ocurre como un cambio simultáneo en todos los miembros de una población; la falta de claridad entre los niveles individual, poblacional y de especie; la percepción de la adaptación en el sentido cotidiano de aclimatación; el no darle importancia a la variación genética, o desconocer sus orígenes y suponer que el ambiente es el responsable directo de la dirección de los cambios en los organismos; la adecuación como medida de fuerza; la interpretación errónea del término “lucha por la existencia” y sobre todo el uso inadecuado del concepto de “necesidad” para indicar un cambio en los caracteres como proceso adaptativo. En este trabajo se considera que un criterio útil para determinar los conocimientos básicos a enseñar en este tema, es partir de las concepciones alternativas de los estudiantes, las que en ocasiones persisten aún después de la enseñanza (Brumby, 1984), debido en gran parte a que no son abordadas ni por los textos ni por los docentes.

La definición de un temario básico para enseñar adecuadamente la teoría de la evolución habrá de tomar también en cuenta el conocimiento que se tiene de que, para lograr el interés en el tema evolutivo, es necesario mostrar su relación con temas cotidianos, tal como se hace dentro de la educación no formal.

Aun considerando las ideas previas de los estudiantes y la importancia de relacionar el tema con lo cotidiano, sería también importante abordar la enseñanza sin dejar de lado las ideas extraescolares con las que los estudiantes están en contacto, como la teleología, el antropomorfismo y la concepción de la adaptación como proceso activo.

Antes de entrar de lleno a la problemática en la enseñanza de la evolución, quisiera hablar brevemente de la preocupación que tienen muchos educadores por definir los temas que se requeriría enseñar antes de la teoría evolutiva, a los que se les ha llamado protoconceptos.

Hay quienes piensan (Jeffery y Roach, 1994) que antes de abordar el tema de la evolución en el currículum de biología, sobre todo en secundaria, hay que enseñar a los estudiantes por lo menos conceptos como *tiempo geológico*, así como algunos temas de genética que, al tratarse con antelación, marcan una notable diferencia en la comprensión de la teoría darwiniana, como pude constatar en este trabajo.

Zuzovski (1994) propuso una serie de conceptos que deben ser parte del currículum de ciencia de la escuela elemental y de secundaria y que, según él, servirían para entender posteriormente el tema de la evolución. Estos incluyen: tiempo geológico, cambio natural en ambientes terrestres, variabilidad, alteración del contenido genético, y potencial biótico de las especies; sin embargo, a mi modo de ver, y como se desprende de esta investigación estos temas son demasiado dispersos. En cambio, Kewon (1988) opina que antes del tema de la evolución se debe hablar primero de herencia, reproducción, adaptación, variabilidad, caracteres y potencial biótico. Por mi parte encontré que al trabajar con grupos de secundaria los protoconceptos deberían estar referidos a los conceptos más problemáticos para los estudiantes. Así, para el concepto de variabilidad, los protoconceptos sugeridos son célula, genética, ADN, cromosoma y gen; respecto al origen de la variación, los protoconceptos requeridos son reproducción sexual, mutación, recombinación, célula somática y reproductiva, mitosis y meiosis; y finalmente para el

concepto de evolución, los protoconceptos adecuados son especie, población, tiempo geológico, adaptación y adecuación, ya sea que se enseñen cuando se requieran o al principio del programa. Quisiera insistir en la enseñanza previa de tales conceptos, ya que hacerlo implicó una mejoría notable en la comprensión de la teoría de la evolución entre prepruebas y postpruebas.

A pesar de lo anteriormente expuesto, muchos programas educativos no sólo no apoyan la enseñanza del tema de la evolución con la presentación de conceptos antecedentes, sino que hay programas de bachillerato que tienen una estructura que presupone que el alumno domina los conceptos básicos de la teoría de la evolución, que dan demasiada importancia a las teorías predarwinistas o peor aún, que se enfocan preferentemente a las polémicas contemporáneas en torno a la Teoría Sintética de la evolución. Esto es particularmente notable en el actual programa de biología del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la UNAM donde se incluyen temas como el neutralismo y el equilibrio puntuado, cuando la teoría de la evolución por selección natural no recibe la debida atención.

Lo anterior es una prueba más de la falta de vinculación que hay entre la teoría y la práctica educativas y que se intenta resolver en este trabajo a partir de la propuesta de una nueva estrategia de enseñanza para la teoría de la evolución por selección natural. Para lograrlo, se toma primero en cuenta el conocimiento (previo o alternativo) con el que los alumnos abordan el tema, lo que requirió diseñar una metodología para detectarlo y examinarlo.

Dado que este trabajo está inmerso en el concepto central de la teoría de Ausubel, que es el aprendizaje significativo,<sup>4</sup> se plantea iniciar la enseñanza de la evolución por selección natural a partir de lo que el alumno ya sabe (Ausubel et al, 1995); por ello, se presenta con todo detalle un análisis de las concepciones de los estudiantes, de manera que el maestro las reconozca en el aula o en pruebas de diagnóstico.

Esta tesis describe la manera en que los estudiantes incorporan a su explicación sobre el proceso de la evolución, la teoría de la evolución por selección natural, cuanto ésta se aborda con diversas estrategias de enseñanza.

En la primera parte de este trabajo se presentan los fundamentos teóricos que permitieron llegar a una estrategia óptima en términos de la comprensión y del manejo de la teoría evolutiva, como son las investigaciones sobre concepciones alternativas y sobre el cambio conceptual; y en la segunda parte, se muestra la metodología seguida para determinar la posibilidad de detectar y evaluar el cambio conceptual a partir de la identificación de las concepciones alternativas y de la propuesta de una nueva estrategia de enseñanza del tema. Esta segunda parte se realizó a manera de investigación en el bachillerato, pues es donde conviene incidir con mayor urgencia en un buen aprendizaje del tema de la evolución por selección natural, ya que este nivel educativo es determinante para los futuros estudiantes de la carrera de biología, que deberían iniciar tales estudios con un conocimiento adecuado del tema.

---

<sup>4</sup> El aprendizaje significativo es el proceso a través del cual nuevas informaciones adquieren significado por intervención (no asociación) con aspectos relevantes preexistentes en la estructura cognitiva del aprendiz, los cuales a su vez también se modifican durante este proceso (Ausubel et al, 1995)

## I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la teoría constructivista, hay una línea muy adecuada para aplicarla a la enseñanza de las ciencias: el aprendizaje significativo propuesto por Ausbel y Novak (Ausbel, Novak y Hanesian, 1995). Esta línea propone, entre otras cosas, que para que se lleve a cabo el aprendizaje significativo se requiere partir de lo que el alumno ya sabe, sobre el cual el maestro tendrá que incidir de diversas maneras (Giordan, 1997). En muchos casos, lo que el alumno ya sabe está representado por explicaciones no científicas, o concepciones alternativas, aprendidas significativamente y por lo tanto, de difícil movilización.

De esta manera, imbuido en esta misma línea de investigación educativa, está el interés por dichas concepciones alternativas; se requiere saber cómo encontrarlas, y una vez localizadas, cómo calificarlas o bien qué hacer con ellas. En palabras de Giordan (1997) habrá que modificarlas, completarlas o erradicarlas.

Las calificaciones y ópticas con las que se juzgan las concepciones alternativas han generado una gran cantidad de metodologías para ubicarlas, detectarlas y manejarlas (Brown, 1992; Chinn y Brewer, 1993; Hewson, 1989; Moreira, 1993; Novak, 1992; Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982; Thagard, 1992; Thorley y Stofflet, 1996; Treagust, Harrison and Venville, 1996), etc. La propuesta más generalizada ha sido intentar cambiar las concepciones alternativas por concepciones científicas mediante un proceso llamada cambio conceptual.

Una de las primeras aproximaciones al cambio conceptual ha sido la llamada *estrategia de conflicto*, en la que el maestro genera en el alumno una disonancia cognitiva entre sus concepciones alternativas y las científicamente sustentadas. Estas estrategias recuerdan la visión de Popper (1959) que mantiene que las teorías son falseadas y rechazadas en base a un experimento crucial, y así como algunos filósofos de la ciencia argumentan que hay otros mecanismos para rechazar teorías (Ruiz y Ayala, 1998), análogamente, el *conflicto cognitivo* no parece ser suficiente para rechazar definitivamente una concepción alternativa, ya que los alumnos pueden proponer siempre hipótesis auxiliares para salvar sus teorías implícitas (Pozo, 1998).

Más cerca de la visión filosófica de Kuhn (1962) que de Popper, Posner *et al* (1982) proponen un modelo de cambio conceptual que ha tenido una gran influencia en la enseñanza de las ciencias. Según este modelo, hay condiciones para el cambio conceptual, cuando existe una insatisfacción con la concepción que uno tiene y cuando el individuo se encuentra con una nueva concepción (científicamente aceptada), que es inteligible y le parece plausible y fructífera. Este modelo no es incompatible con la estrategia de conflicto a pesar de tener otra base epistemológica.

Los dos modelos, el de *conflicto cognitivo* y el de Posner *et al*, parecieron tan atractivos a los docentes, que generaron en la última década un gran número de estudios sobre cambio conceptual. Sin embargo, parece que no ha habido un gran progreso en este tema, ya que aunque muchos artículos han reportado cambio conceptual en diferentes ciencias y niveles, llama la atención la persistencia de las concepciones alternativas.



Para algunos investigadores como Moreira (1994) por ejemplo, el problema con el modelo popperiano de *conflicto cognitivo* y el kuhniano de Posner *et al*, es que ambos definen el cambio conceptual como reemplazo de una concepción por otra en la estructura cognitiva del estudiante, y la práctica parece demostrar que al menos este tipo de cambio conceptual no existe, no por lo menos para concepciones alternativas aprendidas significativamente.

Estudios más recientes, entre ellos uno de Strike y Posner (1993), proponen una revisión de la teorías del cambio conceptual y critican a su propio primer modelo, que pretendía que los alumnos pueden expresar claramente una concepción alternativa, lo cual no siempre sucede, y aunque consideraban la influencia de la ecología conceptual sobre las concepciones alternativas, no tomaban en cuenta que éstas son parte de la misma ecología conceptual. Finalmente, suponían que el cambio conceptual es básicamente racional y subestimaban otros factores que pueden ser parte de la ecología conceptual como el interés o la motivación. A partir de esto, varios autores (Moreira, 1994; Demastes y Good, 1996; etc.) han propuesto poner un mayor énfasis en la ecología conceptual, de manera que la visión de cambio conceptual sea más dinámica y que tome en cuenta la influencia mutua entre los varios componentes de la ecología conceptual.

La visión más reciente del cambio conceptual se refiere a cambios graduales entre la concepción alternativa y la científica, y a la incorporación de nuevos significados sin la desaparición de los antiguos. Esto ya había sido expresado por Nussbaum y Novak en 1984, cuando sugieren que el cambio conceptual tiene un patrón en el que el estudiante mantiene partes de la vieja concepción, mientras gradualmente incorpora elementos de la nueva.

En el caso de la enseñanza de la biología, uno de los temas en donde ha habido un mayor interés por buscar el cambio conceptual es el de la evolución biológica a través de la teoría de la selección natural (Bishop y Anderson, 1990; Jiménez, 1994; Scharmann, 1993; Settlage y Jensen, 1996; etc.). Esto se debe a dos razones: por una parte el tema engloba toda la biología, y hoy en día no se concibe a esta ciencia desprovista de la idea del cambio por selección natural (Mayr, 1982) pero también porque la explicación darwiniana de la evolución provoca que el alumno traiga a colación concepciones alternativas, tal vez de origen cultural o motivadas por sus creencias (en ocasiones religiosas), pero sobre todo de origen contextual, como lo ha mostrado el desarrollo del pensamiento evolutivo de la humanidad, donde hay una gran coincidencia entre el pensamiento de los alumnos y el desarrollo del pensamiento científico pre-darwiniano (Ruiz y Hernández, 1997). Por todo ello parece requerir un enfoque histórico (Settlage y Jensen, 1966), trabajo en equipo (Scharmann, 1993), uso de simulaciones (Peckzis, 1993) etc., para su enseñanza.

De todo ello se ha descubierto que el problema de la enseñanza de la teoría de la evolución no se refiere sólo a cómo abordar las concepciones alternativas, sino también a que la comprensión de la evolución por selección natural implica el manejo abundante de otros temas que son de por sí difíciles, (conceptualmente hablando) como el tiempo geológico, las mutaciones genéticas, las células somáticas y reproductivas, el concepto de probabilidad, etc.

Las investigaciones al respecto son tan numerosas que incluso se tienen ya tipificados los problemas básicos de comprensión de teoría de la evolución, los que principalmente se presentan en los conceptos de variación, origen de la variación, pensamiento tipológico vs. poblacional y la percepción de la evolución como cambio en proporciones de ciertos genotipos (Bishop y Anderson 1990, Demastes, Settlage y Good, 1995; Greene, 1990).

Partiendo de estas dificultades ampliamente identificadas, y en búsqueda de una nueva forma de enseñanza, se hizo un seguimiento desde fines de 1997 del conocimiento que tienen del tema de la teoría de la evolución (incluyendo los conceptos problemáticos) los estudiantes mexicanos desde secundaria hasta finalizar la carrera de biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, ya que un reciente cambio en el plan de estudios de la carrera, en el que se ha introducido una fuerte componente de biología evolutiva desde los primeros semestres, ha revivido el interés por conocer el nivel de conocimientos sobre la evolución por selección natural con el que los estudiantes llegan a la universidad después de haber cursado el bachillerato. Este interés parte de la intención de ofrecer al estudiante de nuevo ingreso a la Facultad de Ciencias, y en general a nivel universitario, cursos de evolución congruentes con su manejo real de la teoría que apuntala a las diversas ramas de la biología (Cummins y Demastes, 1994).

## II. EL CONOCIMIENTO PREVIO SOBRE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Como ya se mencionó, la teoría de la evolución es un concepto unificador que permite al estudiante unir el pasado y el presente de la historia biológica (Kewon 1988), pero cuya complejidad presupone que para comprenderla el alumno posea pensamiento formal en el sentido piagetiano. Sin embargo, este tema que debería enseñarse mediante numerosos ejemplos y demostraciones, está en la realidad pobremente explicado en los libros de texto, e impartido por maestros que suelen desconocer el nivel de conocimientos de sus estudiantes.

Es un hecho que los biólogos y los educadores en esta materia saben que aprender adecuadamente el proceso de evolución es crucial para que los estudiantes comprendan e integren los procesos de la vida. En la práctica, sin embargo, no se logra la enseñanza de este tema por un sinnúmero de razones. Entre ellas están la actitud, el entorno y la capacidad cognitiva de los estudiantes; la complejidad de la propia teoría y las dificultades que tienen los maestros para abordarla. Numerosos son los estudios que se han hecho intentando solucionar uno o varios de los problemas anteriores, pero en general las diferentes metodologías que se han propuesto para lograr que el alumno se apropie del conocimiento evolutivo, arrojan resultados parciales (Lawson y Worsnop, 1992).

Es por ello que en este trabajo se pretende, entre otras cosas, llegar a la propuesta de una metodología que permita al maestro de enseñanza media superior ayudar a que el alumno supere algunos de los problemas ya detectados en la enseñanza de la evolución. Para ello se presenta un análisis de tales dificultades, con lo que se intentará aminorarlas en la propuesta posterior de un método de instrucción.

Sin embargo, el diseño de los temarios sobre la evolución y la explicación darwiniana es sólo parte del problema que aborda esta tesis; la otra se refiere a su enseñanza, donde considero que para tener éxito, no es tan importante el nivel escolar en el que el tema se aborde, sino que antes de la presentación de la teoría evolutiva hay que tomar en cuenta los puntos de vista de los estudiantes y sus concepciones erróneas sobre el tema, ya que dicho procedimiento permite conocer sus habilidades cognitivas y sus creencias, las que dan al maestro una pauta más clara de cómo enfocar la enseñanza. Al respecto, este trabajo también ha mostrado que los maestros requieren entrenamiento para evaluar los antecedentes culturales de sus alumnos, y de acuerdo a un diagnóstico acertado, lograr transmitirles los conocimientos al nivel requerido.

### II.1 EL ENFOQUE DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

Es a partir de los años setenta cuando la investigación sobre la enseñanza de la ciencia empieza a demostrar un interés creciente en los modelos conceptuales de los alumnos y no sólo en sus procesos de razonamiento sobre contenidos científicos concretos. Sin embargo, hasta los años ochenta comienzan a proliferar trabajos sobre las ideas de los alumnos respecto de numerosos conceptos científicos.

Al iniciar el proceso de aprendizaje los alumnos poseen ideas previas, a menudo erróneas, relacionadas con aquello que van a aprender. La importancia que estas ideas tienen ha llevado a algunos autores a definir las como el factor más importante que influye en el proceso de aprendizaje (Ausubel, 1995). Si el maestro desea que sus alumnos aprendan realmente los

contenidos científicos, debe comenzar contribuyendo a que sus alumnos hagan explícitas las ideas previas que poseen. De esta manera, el alumno podrá ser consciente de aquello que sabe y el profesor podrá conocer las ideas tanto correctas como erróneas de sus alumnos, aunque como posteriormente se explicará, para favorecer el proceso de cambio conceptual en los alumnos no es suficiente hacer explícitas las preconcepciones de los alumnos.

Es importante que el profesor reflexione sobre dos características adicionales de las ideas previas: son funcionales para el alumno y son resistentes al cambio. Estas dos características están estrechamente ligadas entre sí. Los alumnos poseen estas preconcepciones que, siendo erróneas e incoherentes desde el punto de vista científico, no lo son desde el punto de vista personal. Dichas ideas son adecuadas para ellos porque les permiten explicar la realidad y, justamente por esto, son enormemente resistentes al cambio.

En general, existen ciertos aspectos comunes a estas ideas previas de los alumnos sobre los fenómenos científicos:

- Son específicas de dominio, y con frecuencia, dependen del método utilizado para identificarlas.
- La mayoría de estas ideas no son fáciles de identificar porque forman parte del conocimiento implícito del sujeto.
- Son construcciones personales. A pesar de que se ha encontrado cierto grado de similitud entre las representaciones de sujetos procedentes de distintos medios culturales, es necesario interpretarlas dentro del contexto individual (Driver 1989).
- Muchas de ellas están basadas en la percepción y en la experiencia del alumno en su vida cotidiana, lo que parece lógico, pues cuando recibimos información nueva sobre un fenómeno específico, como les sucede a muchos estudiantes cuando han de enfrentarse a ciertas nociones científicas, elaboramos representaciones simplificadas y normalmente basadas en la comparación con aquellas situaciones o nociones de la vida cotidiana o de otros contextos, que encontramos semejantes y que nos permiten establecer alguna relación entre lo nuevo y algo que ya conocemos. De ahí que la utilización de analogías en la enseñanza de las Ciencias naturales haya sido una de las técnicas estudiadas para la introducción de conceptos científicos o la modificación de estas ideas previas (Duit, 1991).
- Estas ideas previas de los estudiantes no tienen todas el mismo nivel de especificidad/generalidad, y por tanto, las dificultades de comprensión que ocasionan a los estudiantes no son igualmente importantes. Por ejemplo, la concepción alternativa de que el ambiente genera directamente los cambios en los seres vivos da lugar a una gran barrera a la comprensión de la evolución; mientras que la idea del cambio por “uso y desuso” parece no afectar mayormente la comprensión del proceso evolutivo.
- Con frecuencia, como ya se mencionó, estas ideas son muy resistentes y, consecuentemente, difíciles de modificar (White y Gunstone, 1989, Duit, 1991). Al respecto, hay diferentes hallazgos; por un lado, aquellas concepciones que están estrechamente ligadas a situaciones de la vida cotidiana, son más difíciles de

modificar, como lo son las ideas centrales dentro del modelo explicativo del alumno. A este tipo de ideas se refieren Chinn y Brewer (1993) como “creencias atrincheradas”. Otra posible explicación indicada por diversos autores y reflejada por Duit (Strike y Posner, 1993; Chinn y Brewer, 1993), es la falta de conocimiento previo. Si uno no dispone de un cierto nivel de conocimiento, difícilmente puede entender los argumentos presentados para conducir al cambio. Asimismo, los factores motivacionales también han sido sugeridos: si el alumno no tiene interés en el contenido que está aprendiendo, resultará casi imposible que modifique alguna de sus ideas al respecto.

- Tienen un grado de coherencia y solidez variable: pueden constituir representaciones difusas y más o menos aisladas o bien pueden formar parte de un modelo mental explicativo con cierta capacidad de predicción.

Estas dos últimas posibilidades, en principio contradictorias, han sido abrazadas por diversos autores. Por ejemplo, para diSessa (1988) “la física intuitiva” consistiría en un conjunto amplio de ideas fragmentarias y aisladas, más que en un número reducido de pequeñas estructuras integradas a las que podría denominarse “teorías”. Muchas de estas ideas fragmentarias –denominadas “p-prims” (abreviatura de “primitivos fenomenológicos”)– serían simples abstracciones de experiencias comunes, primitivas, en el sentido de que generalmente no necesitan explicación y simplemente ocurren. Un ejemplo de “p-prim” en la teoría evolutiva es la idea tan común de la “necesidad” como motor de la evolución (Demastes y Good, 1996).

Por su parte, Vosniadou y Brewer (1992) consideran que el conocimiento conceptual en el caso de los niños no es fragmentario y desconectado como propone diSessa (1988), sino que son capaces de integrar la información en modelos mentales coherentes que utilizan de manera consistente.

Estas dos posibilidades no tendrían por qué ser incompatibles. Es posible que respecto a algunos conceptos, probablemente los más alejados de su conocimiento y de su experiencia, los alumnos tengan representaciones difusas y poco coherentes, mientras que respecto a otros conceptos sobre los que tienen más conocimiento, no sólo a partir de su experiencia, sino a través de la escuela, puedan ser capaces de elaborar representaciones más complejas, integradas y coherentes, que tal vez sean más difíciles de modificar que aquéllas que forman parte de una representación difusa (Limón y Carretero, 1997).

Sea cual fuere la explicación a la dificultad que suele encontrarse en la práctica educativa para modificar las concepciones alternativas de los estudiantes, el caso es que desde la perspectiva constructivista, son un excelente punto de partida para la enseñanza, siempre y cuando el profesor sepa identificarlas, y una vez identificadas, pueda poner en práctica estrategias que promuevan el cambio conceptual; tal como se propone en esta tesis.

Se han desarrollado diversas técnicas para tratar de hacer explícitas las ideas de los alumnos, entre las que destacan los cuestionarios de elección múltiple y el diseño de pequeños problemas sobre diversos fenómenos científicos relacionados con la experiencia del alumno. Sin embargo, al ser dichas ideas construcciones personales y, por tanto, individuales; al haberse comprobado que algunas de ellas son muy dependientes del método con el que son diagnosticadas.

y el que a veces carecen de coherencia y estabilidad, todo ello dificulta su evaluación y pone de manifiesto las limitaciones de la metodología empleada hasta ahora. Es necesaria mayor investigación en este sentido. No obstante, y a pesar de estas dificultades, el profesor debería hacer una evaluación de las ideas de los estudiantes, elaborando sus propios instrumentos adaptados a las características de sus alumnos y combinando varias técnicas en vez de limitarse a una, con el fin de salvar en la medida de lo posible los problemas señalados.

Asimismo, habría que tender a la realización de trabajos integradores más que descriptivos que pudieran hacer una mayor contribución didáctica en aspectos tales como la selección y secuenciación de contenidos en los diferentes niveles educativos.

En definitiva, este enfoque supone un avance importante en nuestro conocimiento sobre la comprensión de los estudiantes acerca de la teoría de la evolución y, en general, de los sujetos profanos o con escasos conocimientos científicos, pero ponerlo en práctica en el aula de una manera coherente exige un notable esfuerzo por parte del profesor y una selección y reducción de los contenidos si el objetivo es lograr la comprensión del alumno.

Por lo tanto, si el profesor quiere que sus alumnos cambien las ideas previas erróneas, deberá desarrollar una metodología mediante la cual éstos puedan ver que las ideas que poseen y que creen tan explicativas y válidas, en realidad no lo son tanto. Para ello, el profesor puede usar una metodología basada en el cambio conceptual, lo que se explicará con mayor detalle en el capítulo V de esta tesis.

## II.2 LOS ORÍGENES DE LAS IDEAS ALTERNATIVAS SOBRE EVOLUCIÓN

Aún no se sabe del todo cuáles son las experiencias clave que llevan a los estudiantes a utilizar ideas preconcebidas que inhiben el aprendizaje y la retención de conceptos y principios científicos pero, como ya señalé, sí se sabe que estas ideas preconcebidas son altamente insidiosas y que la resistencia a aceptar ideas nuevas, contrarias a las creencias prevalecientes, es simplemente una característica del aprendizaje humano. Por supuesto que existen diferencias individuales en cuanto a la tenacidad de las ideas preconcebidas, que tal vez estén relacionadas con el estilo y desempeño cognoscitivos y quizá con ciertos rasgos de la personalidad (Ausubel *et al*, 1995); pero lo que es un hecho es que antes de recibir instrucción formal en evolución, los estudiantes ya han desarrollado sus propias ideas de cómo funciona la naturaleza (Caillet, 1994), de manera que cuando llegan a la carrera de biología tienen, como se mostrará más adelante, un conocimiento pobre y falseado sobre la teoría de la evolución.

Es sabido que entre los factores que influyen en cómo una persona responde en clase al enfrentarse a datos nuevos, están las características de su conocimiento previo; en el caso de la teoría de la evolución, están involucradas las creencias originales, en ocasiones religiosas, que son muy difíciles de cambiar (Chinn y Brewer, 1993). Por otro lado, para que los datos nuevos sean aceptables, se requiere de demostraciones, experimentos o vivencias que hagan referencia al mundo real o que sean perceptualmente obvias, lo cual resulta muy complicado para el caso particular de la evolución biológica (Chinn y Brewer, 1993). Por ejemplo, Lawson (1986) encontró que algunos estudiantes con ideas creacionistas previas a la instrucción en evolución, después de

ésta solamente logran hacer cambios periféricos hacia el creacionismo científico<sup>5</sup>, y Kargbo *et al*, (1980) muestran que aún después de la enseñanza de la genética, el alumno continúa involucrando sus ideas previas cuando se trata el tema de la evolución.

La dificultad en el aprendizaje de esta teoría ha determinado que varios investigadores en educación se preocupen por entender cómo conciben los estudiantes los mecanismos de la evolución, dado que sus ideas difieren de las de los biólogos (Good 1992, Reif y Larkin, 1991). En principio se considera que se trata de un enfrentamiento entre un concepto tan abstracto como es la teoría de la evolución y un concepto tan difícil de percibir como la variación (Engel y Wood, 1985), frente al pensamiento concreto de los estudiantes de nivel medio (Settlage y Jensen 1996).

Para Perkins y Simmons, (1988) los principales patrones de concepciones erróneas son los siguientes: conceptos erróneos, que son aquéllos que tienen los novicios o las personas no informadas en un tema; conceptos rituales, que poseen aquéllos que tienen alguna instrucción; y los conceptos gordianos, que son errores elaborados por los expertos. El instructor de evolución se enfrenta a menudo, según Brumby (1984), a los dos primeros tipos de errores, que hacen que la idea darwiniana de evolución por selección natural sea frecuentemente mal entendida por los estudiantes, aun los que tienen educación universitaria (Bishop y Anderson, 1990).

En cambio, Greene (1990) opina que no son tales errores los que impiden la comprensión de la teoría evolutiva, sino que simplemente a falta de modelos científicamente correctos, el estudiante echa mano de ciertas suposiciones, mientras éstas le predigan y expliquen los eventos del mundo real. Para Greene las dos principales suposiciones que los estudiantes tienen sobre la evolución son las siguientes: la primera, que una población es una colección de individuos con un tipo común y que las variaciones entre los individuos no son importantes en el proceso de cambio. La segunda se refiere a que la naturaleza no cambia al azar.

Respecto a la primera suposición, cabe recordar que uno de los grandes avances intelectuales de Darwin en la explicación de la evolución está el uso del pensamiento poblacional sobre el tipológico (Mayr, 1991). Si un estudiante quiere considerar el cambio en una población a la que supone estable, pensará que los individuos de esa población son esencialmente iguales y restará importancia a la variación. Esto hace que a su vez piense que un cambio se genera sólo cuando se le necesita. Este enfoque tipológico contrasta con aquél que considera a las poblaciones como formadas por individuos diferentes, de tal modo que algunos de esos individuos estará preparado cuando se requiera un cambio.

La suposición de que la naturaleza no cambia al azar tiene muchas más implicaciones. Puede provenir de una idea de cambio dirigido, y obviamente está relacionada con una perspectiva tipológica y no poblacional. De esta suposición se derivan tres tipos de ideas: la evolución teleológica, la ortogénesis y el lamarckismo.

---

<sup>5</sup> Se refiere a las ideas sobre una creación especial en el sentido bíblico pero apoyado en supuestas explicaciones científicas (Berra, 1990)

En la concepción teleológica de la evolución, los estudiantes suponen que el cambio en los organismos está dirigido por un agente externo cuyo objetivo es mejorar las especies. Los estudiantes con ideas de este tipo, aunque tal vez no mencionen a un creador, suelen considerar a la evolución como dirigida por un agente externo, como la naturaleza y normalmente sólo la consideran en los animales.

Cabe aclarar que en esta tesis se está considerando la postura de Ayala (1970), quien opina que la selección natural es un proceso teleológico porque se trata de un proceso mecanicista dirigido a un fin, que es el incremento de la eficiencia reproductiva. Pero que al mismo tiempo no es un proceso teleológico, en tanto no tiende a la producción de tipos específicos de organismos o hacia organismos con ciertas propiedades.

Los estudiantes con pensamiento ortogénético tienen la idea de que los patrones de cambio se originan dentro de los individuos y que se van pasando de generación en generación de manera progresiva. Dado que para ellos la aparición de estos cambios no depende de la información ambiental, los cambios resultantes podrán ser positivos o negativos. Los estudiantes con ideas ortogénicas no utilizan el concepto de selección natural.

La tercera alternativa, y quizá la más común, es el lamarckismo, que entre otras cosas postula que los organismos evolucionan por la adquisición de cambios requeridos, que pueden ser adquiridos y heredados a futuras generaciones.

De las observaciones que llevé a cabo como parte de este trabajo en diferentes grupos de secundaria y bachillerato, pude constatar que muchas explicaciones que la literatura ofrece como origen de las concepciones alternativas sobre la evolución, no parecen coincidir con las de la mayoría de los estudiantes mexicanos de estos niveles educativos. Es innegable que el entorno influye en la formación de dichas concepciones, pero la realidad en nuestro país es otra: el ambiente religioso afecta las respuestas de los alumnos, pero porque se trata de la explicación que éstos tienen más a la mano; de la misma manera, las respuestas lamarckianas se deben a que como son las más fáciles de elaborar, son las que los adultos (incluyendo a los maestros) transmiten a los niños. En las escuelas observadas nunca encontré argumentos creacionistas, y casi podría decir que esto puede hacerse extensivo al país. Tampoco podría decir que las dificultades para la comprensión de la teoría evolutiva están relacionadas con el pensamiento concreto de los estudiantes, dado que como podrá verse en la sección de resultados, los jóvenes de secundaria (de entre 11 y 15 años) fueron los que obtuvieron los mejores promedios en las postpruebas aplicadas después de enseñarles el tema con el método que en este trabajo se propone.

### II.3 LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS MÁS COMUNES SOBRE EVOLUCIÓN

Antes de hablar con detalle de las interpretaciones más comunes que los estudiantes hacen del proceso evolutivo, quisiera mencionar la segunda razón que más parece influir sobre aquéllas, además de la del entorno familiar que ya mencioné. Se trata del papel que la escuela juega en la enseñanza de la ciencia con programas desarticulados, impartición de los temas sin los antecedentes requeridos, transmisión de los conocimientos científicos como si fueran actos de fe, una visión distorsionada de la ciencia, currícula cargados de datos, preferencia de la memorización por sobre la comprensión, y sobre todo una visión de los maestros sobre el proceso evolutivo muy semejante a la de los estudiantes, según esta visión, el cambio en los organismos (exclusivamente



animales) está dado por el ambiente que “crea una necesidad”, lo que a la vez propicia un cambio en los organismos que se manifiesta por “uso y desuso”. A esta explicación, que es repetida sobre todo por los estudiantes que han llevado algunos cursos de biología en los que se trata el tema de la evolución, subyacen por lo menos tres argumentos erróneos en la percepción de cómo funciona el proceso evolutivo.

En este trabajo se han podido identificar tales argumentos como las principales formas en que las explicaciones de los estudiantes difieren de las de los científicos, y que coinciden con las detectadas por Bishop y Anderson (1990); Brumby (1984); Demastes *et al* (1995); Lawson (1986) y Settlage (1994), (1996). Tales diferencias se resumen en la Fig. 1.

La primera de tales diferencias se refiere al origen y la supervivencia de nuevos caracteres en las poblaciones. Los biólogos reconocen dos procesos distintos, fundamentalmente diferentes en causa y efecto y que influyen en los caracteres exhibidos por las poblaciones a lo largo del tiempo. Los nuevos caracteres se originan debido a cambios al azar en el material genético (mutaciones al azar o recombinación sexual) los cuales subsisten o desaparecen debido a la selección por factores ambientales (selección natural).

Muchos estudiantes no logran reconocer la existencia de dos procesos diferentes y tampoco distinguir entre la aparición de caracteres en una población y su supervivencia en el tiempo. En cambio, piensan que hay un solo proceso por el que las características de las especies cambian gradualmente y al que indistintamente le llaman “selección” o “adaptación”.

Los estudiantes creen también que el medio ambiente (y no los procesos de mutación al azar y la selección natural) determina la dirección en que las características de los organismos cambian en el tiempo. Entre las razones por las que piensan que esto ocurre está la de *necesidad* (los organismos desarrollan nuevas características porque las necesitan para sobrevivir), y la del uso y desuso (una especie cambia porque sus miembros usan más o dejan de usar ciertos órganos o habilidades).

Si se observa nuevamente la Fig. 1, la postura científica considera que ocurre un cambio en el número de individuos con caracteres adaptativos, y en la concepción de los alumnos se muestra que la naturaleza del carácter cambia gradualmente en toda la población.

Parte del pensamiento erróneo se debe a la dificultad para tomar en cuenta el papel que desempeña la variación en la evolución. Los biólogos consideran que las poblaciones evolucionan porque algunos de sus miembros individuales poseen una ventaja reproductiva sobre otros miembros de la población, debido a sus características genéticas. De esta manera, la variación dentro de las poblaciones es una condición para el cambio evolutivo. En lugar de considerar a la población formada por miembros individuales, los alumnos ven a la evolución como un proceso que moldea o define a la especie como un todo. Por ejemplo, dicen que los chitas (todos) se vieron en la necesidad de correr más rápido para alcanzar a sus presas y que sus músculos y huesos se adaptaron gradualmente a esta función.

De todos los problemas anteriores, el que encontré más persistente es la dificultad de entender que el cambio en los organismos puede deberse al efecto combinado de la mutación al azar y de la selección no azarosa (pero probabilística). Al respecto, Settlege (1994) opina que tanto el concepto de mutaciones al azar como el de variación en una población se encuentran en la zona de “desarrollo proximal” de Vigotsky<sup>6</sup>, mas no se sabe cuál es el tipo de razonamiento que facilita la comprensión de dichos conceptos. Lo que es evidente, es que las ideas de los estudiantes no se parecen a las discusiones que se suscitan en la biología moderna, sino más bien a las teorías ya desacreditadas por los biólogos.

En otra concepción errónea, los estudiantes atribuyen la progresión gradual evolutiva no a la proporción cambiante de individuos portadores de cambios genéticos en la población, sino a cambios graduales en los propios caracteres que van mejorando o empeorando de una generación a la siguiente. Por ejemplo, opinan que los animales que viven en cuevas oscuras heredan sus genes con pérdida gradual de la vista a través de varias generaciones, hasta que terminan siendo ciegos.

Finalmente, es importante mencionar que además de las ideas alternativas sobre la teoría de la evolución también hay una serie de términos que resultan complejos para los estudiantes y que parecen reforzar dichas concepciones. Estos términos son adaptación y adecuación, cuyo significado en el lenguaje común difiere del que tienen en el contexto evolutivo.

Dentro de la biología, la adaptación se refiere a la noción de “armonía” de las estructuras y funciones del organismo con las necesidades del medio ambiente. Al enfrentarse al término adaptación en el contexto evolutivo, los estudiantes suelen construir significados en términos del uso común del concepto, lo que tiende a reforzar su idea errónea de que la influencia directa del ambiente determina la aparición y desarrollo de nuevos caracteres.

El otro término la adecuación, que presenta de por sí dificultades de definición en el ambiente académico, se utiliza para expresar la capacidad relativa de los individuos o de sus genes para producir descendencia capaz de sobrevivir. En el sentido evolutivo, cualquier carácter genético que incremente la habilidad de un organismo para producir descendencia, aumenta también su adecuación. Cuando los estudiantes utilizan el término adecuación, a menudo sólo se refieren a caracteres deseables como fuerza, salud o inteligencia. Esta concepción estudiantil tiende a ser reforzada por las popularizaciones inadecuadas de frases como: “sólo el más fuerte sobrevive”.

Otros conceptos complicados son, desde luego, selección natural, crecimiento poblacional y extinción. También hay confusión entre diversidad y variación. Cabe aclarar que para Darwin la acumulación gradual de variaciones generaría “variedades” y luego “diversidad”, pero hoy en día los biólogos no creen que la diversidad sea una mera extrapolación de la variedad, y el léxico biológico establece claramente una distinción entre los dos términos.

---

<sup>6</sup> La zona de desarrollo proximal se define como la distancia entre lo que los individuos pueden lograr por sí mismos y lo que son capaces de hacer cuando son ayudados por una persona más capaz. Tal persona ayuda al desarrollo del aprendiz facilitando, modelando, explicando, preguntando, discutiendo y manteniendo la atención centrada en el contexto de aprendizaje (Jones, Rua y Carter, 1998).

En el capítulo IV se tratarán con más detalle otros puntos difíciles en la comprensión de la teoría evolutiva y cómo abordarlos en el aula, mientras que en el siguiente apartado se mostrará una clasificación de las concepciones alternativas de los estudiantes, con objeto de ayudar a los maestros a detectarlas en clase o en las pruebas de diagnóstico.

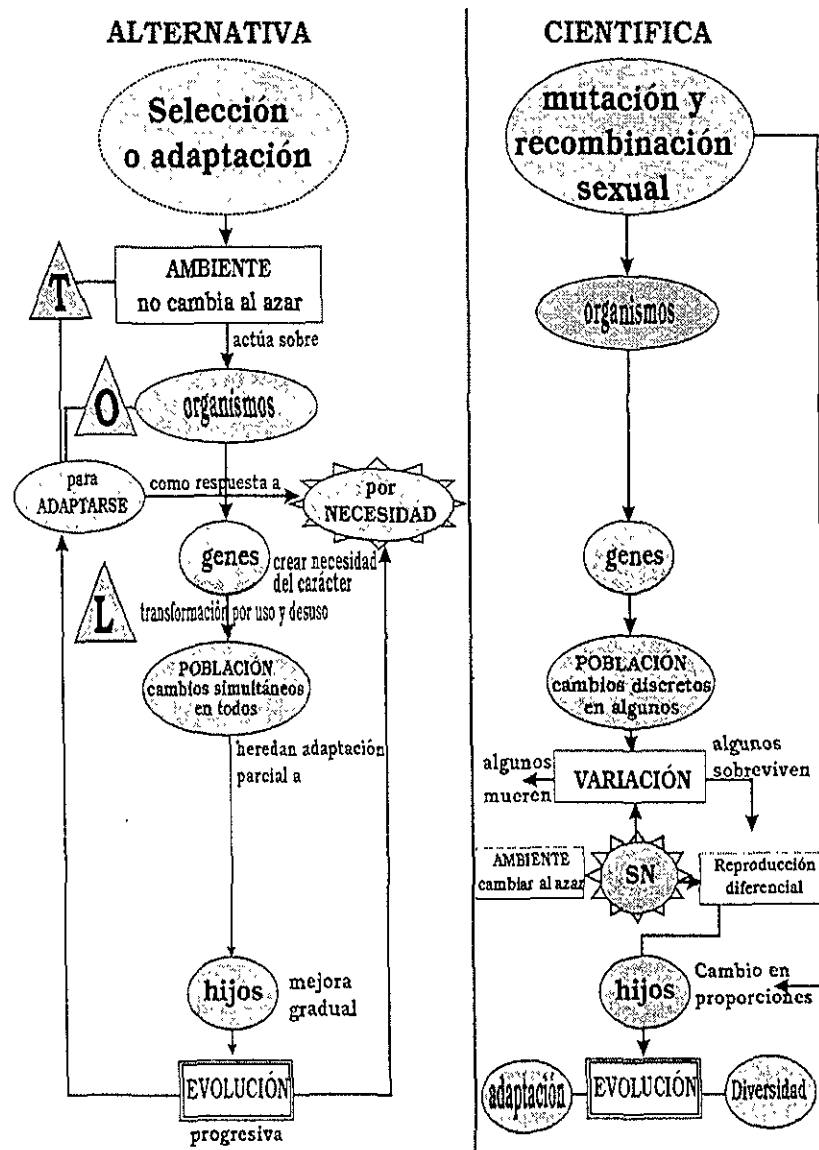


Fig. 1

CONCEPCIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN

## II.4 UNA CLASIFICACIÓN DE LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA EVOLUCIÓN

TABLA A CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LAS IDEAS BÁSICAS DE LA TEORÍA EVOLUTIVA (BASADO EN BISHOP Y ANDERSON, 1985)

TEMA	CONCEPCIÓN CIENTÍFICA	CONCEPCIÓN ALTERNATIVA	EJEMPLOS DE C. ALTERNATIVAS
Origen y persistencia de nuevas características en las poblaciones	<p>Dos procesos separados:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Eventos genéticos al azar afectan la apariencia y calidad de la característica.</li> <li>2. Las condiciones ambientales solamente afectan la persistencia y dispersión de las características existentes.</li> </ol>	<p>Solamente se reconoce un proceso.</p> <p>Se piensa que las condiciones ambientales causan el desarrollo de las características genéticas en el tiempo, dando lugar a:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cumplimiento de una necesidad o propósito</li> <li>2. Adaptación</li> <li>3. Uso/desuso</li> </ol> <p>Se entiende que los efectos de las condiciones ambientales influyen directamente sobre las características de los individuos o los genes.</p> <p>No se hace distinción entre la aparición de una característica y su persistencia en una población.</p>	<p>“Dado que en cada generación los chitas se desarrollaban más...”</p> <p>“Para sobrevivir, su cuerpo comenzó a ajustarse al medio...”</p>
El papel de la variación en las poblaciones	<p>Resultan esenciales las diferencias individuales</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Diferencias en los caracteres.</li> <li>5. Diferencias en éxito reproductivo con relación a las condiciones ambientales.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. No se consideran relevantes las diferencias individuales.</li> <li>7. Se considera que la especie (como un todo) cambia en el tiempo.</li> </ol>	<p>“Los chitas debieron haber corrido más rápido para alcanzar a sus presas y gradualmente sus músculos cambiaron para adaptarse a esto...”</p>
La evolución vista como la proporción cambiante de individuos con características discretas	<p>La evolución consiste en un cambio que ocurre a lo largo de varias generaciones, en la proporción de los individuos de una población que exhiben una cierta característica genética (o cambio en la frecuencia génica de una población).</p>	<p>La evolución es vista como un cambio a lo largo de varias generaciones, en la cualidad de ciertas características que poseen los individuos.</p>	<p>“Como ya no necesitaban la vista, las salamandras de la cueva heredaron a sus hijos genes con menor habilidad para ver, hasta que se volvieron ciegas...”</p>

TABLA B LAS EXPLICACIONES SOBRE LA EVOLUCIÓN (BASADO EN ZUZOVSKY, 1994)

CATEGORÍAS	EXPLICACIÓN ALTERNATIVA	EJEMPLOS	EXPLICACIÓN CIENTÍFICA	EJEMPLOS
Metas de la evolución C.A Dirigida a metas C.C.No dirigida a metas	El cambio de las especies es un proceso dirigido a metas acordes con las necesidades de los individuos, su tendencia a sobrevivir, para ajustarse al medio o para cumplir con un plan divino o de la naturaleza.	– En un principio, el color de la piel era negro, pero se requirió que se volviera clara. – Las mutaciones que pueden hacer que la piel se vuelva más clara son positivas, por eso se heredaron a los hijos.	El cambio de las especies es un proceso no dirigido a metas y sin ningún propósito en particular. Las metas no son causa de la evolución.	– En los lugares con menos insolación, la piel clara dejó de ser una desventaja.
La evolución como proceso C.A Evolución como progreso C.C. Evolución como cambio	La evolución es un proceso esencialmente progresivo, al final del cual se encuentran los organismos más avanzados.	– Las especies no exitosas fueron eliminadas en el pasado y sólo subsistieron las exitosas.	La evolución es un proceso de cambio que resulta en organismos mejor adaptados a sus condiciones ambientales específicas. Es imposible hablar de linajes más o menos avanzados	– Las mariposas de color oscuro sustituyeron a las blancas cuando las primeras tuvieron ventaja de sobrevivir en las ciudades industriales.
La adaptación C.A. La adaptación es un proceso de cambio activo al nivel de individuos C.C. La adaptación es el resultado del proceso de selección al nivel de especies	La adaptación es un proceso de cambio activo y conductual y que se lleva a cabo durante la vida del individuo con el propósito de incrementar la adecuación entre sí mismo y el ambiente.  Este proceso puede ser el resultado del uso o desuso de ciertos órganos o de la inmunización a ciertos aspectos del medio.	– Las bacterias se vuelven resistentes – Las bacterias desarrollan anticuerpos – Las bacterias detectan al antibiótico  – La gente de piel blanca se empezó a reproducir mientras que la de piel negra desapareció, tal y como perdimos la cola.	La adaptación es el resultado del proceso de selección que tiene lugar en muchas generaciones; consiste en la persistencia y dispersión de los genotipos más adecuados.	– Si una bacteria tiene un carácter resistente (ya sea por mutación o porque lo ha heredado de sus ancestros) y hasta ahora lo muestra, sobrevivirá y lo heredará a su descendencia, la cual tendrá mayores probabilidades de reproducirse.
La herencia y la evolución C.A Herencia adquirida C.C. Sólo se heredan caracteres seleccionados	Las características que son adquiridas en el transcurso de la vida de un individuo son heredadas genéticamente (herencia blanda).	– La piel gruesa será heredada porque se introduce en los genes de los padres. – Los músculos desarrollados por el pesista se heredarán a sus hijos.	Sólo los genotipos seleccionados son heredados a la siguiente generación (herencia dura).	– La característica de piel gruesa no será transmitida a la descendencia si no proviene de una mutación genética en las células germinales.
Modos de la evolución C.A. La evolución saltacional C.C. La evolución como proceso gradual	La evolución se da por saltos	– Sobre todo se trata de ejemplos históricos (ver a de Vries o Goldsmith).	La evolución es la acumulación de cambios en las frecuencias génicas en las poblaciones.	– Los caballos cuya dentadura (molares) tenía un dibujo más complejo comenzaron a predominar en las poblaciones ancestrales, hasta que se convirtieron en la mayoría.

### III. LA APLICACIÓN DE LAS TEORIAS SOBRE EL CAMBIO CONCEPTUAL A LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCION POR SELECCIÓN NATURAL

En el capítulo anterior se mencionó que resulta complicado enseñar adecuadamente a los estudiantes la teoría de la evolución por selección natural si no se toman en cuenta sus concepciones alternativas y sobre ellas se diseñan las clases. Esto hace indispensable no sólo tener una metodología accesible para detectar las concepciones alternativas de los estudiantes, sino también saber cómo tratarlas para provocar un cambio conceptual, tema del que se hablará en este capítulo.

Gran parte de la investigación reciente sobre el aprendizaje y enseñanza de las ciencias, basada en el enfoque de las concepciones alternativas, parte de considerar que hay un gran abismo entre las ideas del científico y las del alumno; y para que los alumnos aprendan las teorías y modelos científicos, es necesario que modifiquen radicalmente sus interpretaciones, porque de otra manera tenderán a cometer errores conceptuales y a interpretar lo que estudian de acuerdo a sus propias concepciones alternativas. De hecho, el sentido que los alumnos atribuyen a conceptos como vida, energía, respiración, nutrición, evolución, etc., tiene escasa relación con el significado que estos mismos términos tienen en las teorías científicas que deben aprender en la escuela. Las numerosas publicaciones acerca del conocimiento cotidiano de los alumnos y las diferencias entre éste y el conocimiento científico señalan constantemente esa incompatibilidad, que es patente incluso en la denominación que se da al conocimiento cotidiano<sup>7</sup>: *preconceptos, concepciones alternativas* o ideas *erróneas*. La preocupación básica de la enseñanza de las ciencias se centra hoy en día en acercar esta ciencia intuitiva, con la que los alumnos llegan a la escuela, a los conocimientos científicos.

Como se verá en este capítulo, gran parte de las estrategias didácticas que toman en cuenta los conocimientos previos de los alumnos han tendido implícita o explícitamente a sustituir o a cambiar esos conocimientos por otros que se acerquen más a los marcos conceptuales de la ciencia. Muchas de estas propuestas han adoptado una estrategia de conflicto cognitivo que hace ver al alumno que su teoría es errónea y que debe sustituirla por otra con mayor poder explicativo y que sea más próxima a la teoría científicamente aceptada. El éxito de estos métodos se mide por el grado en que los estudiantes han sido capaces de eliminar sus persistentes conocimientos alternativos.

Hay que reconocer que si bien muchos esfuerzos didácticos basados en este enfoque han arrojado resultados que superan a los logrados con métodos más tradicionales basados en la compatibilidad de ideas, los resultados globales indican la gran dificultad que implica el que los estudiantes abandonen sus ideas alternativas. Este aparente fracaso puede deberse a que buena parte de esos esfuerzos didácticos intentan cambiar las concepciones alternativas con estrategias que quizá son muy agresivas, en lugar de enfocarse en el cambio de las estructuras conceptuales que les dan origen (Pozo y Gómez, 1998). Porque el problema no está tanto en el significado individual de estos conceptos intuitivos, sino en los esquemas conceptuales a los que los alumnos los asimilan. Hay que dejar claro que para manejar la incompatibilidad entre las ideas de los

---

<sup>7</sup> Para una discusión detallada sobre la pertinencia de esta terminología, consultar a Abimbola, 1988

estudiantes y las de los científicos no basta con conocer los largos listados de concepciones erróneas que la literatura publica continuamente, sino que es necesario comprender los principios epistemológicos, ontológicos y conceptuales en los que se basan dichas concepciones. Por eso es que White y Gunstone (1989) han sostenido que no se requiere un cambio de concepciones sino de conceptualizaciones. Entonces, visto así, el cambio conceptual no implicaría cambiar el significado individual de tales conceptos sino, como también opinan Benlloch y Pozo (1996), reestructurar las ideas de las que forman parte. De esta manera, el significado de las concepciones de los alumnos o de sus modelos mentales construidos a partir de esas *teorías de dominio* (como las denomina Benlloch y que incluyen aquéllas sobre la fotosíntesis, la evolución, la nutrición, etc.), estaría a su vez determinado por sus *teorías implícitas*, o *teorías marco* en la terminología de Vosniadou (1994). Así, desde esta perspectiva, para que el cambio conceptual logre realmente vencer la incompatibilidad básica entre las teorías de los alumnos y las científicas, deberá estar dirigido a cambiar las estructuras conceptuales y los supuestos epistemológicos implícitos en dichas teorías.

Pero quizá la principal razón del fracaso en los intentos por alcanzar el cambio conceptual entendido como simple sustitución de ideas, está en que se pretende que dicho cambio implique algo que parece casi imposible, como es el abandono del conocimiento cotidiano. En este trabajo se muestra que el cambio conceptual no consiste en sustituir el conocimiento cotidiano por el científico, sino saber utilizar diferentes tipos de representaciones para situaciones distintas.

### III.1 LAS INTERPRETACIONES SOBRE EL CAMBIO CONCEPTUAL

La posibilidad de emplear en el aula muchas de las valiosas aportaciones didácticas que han producido los trabajos sobre cambio conceptual requiere que los maestros conozcan los enfoques más importantes sobre el tema. Con ello tendrán elementos para decidir la metodología que más les convenga seguir para la enseñanza de temas que, como la teoría de la evolución por selección natural, requieren enfrentar numerosas concepciones alternativas y modificar las teorías marco, o ingenuas, del alumno.

Las teorías sobre cambio conceptual permiten entender mejor el proceso de aprendizaje y *por lo mismo tienen implicaciones prácticas para la instrucción* (Vosniadou, 1994), pues es muy posible que un profesor que conozca los procesos implicados en el cambio conceptual organizará su enseñanza de modo que pueda favorecer el aprendizaje de sus alumnos. Sin embargo, el cambio conceptual ha recibido diversas interpretaciones que confunden a aquéllos que pretenden aplicarlo en el aula. Parte de esta confusión se elimina cuando se entiende que el aprendizaje implica dos patrones de reestructuración (Hewson y Thorley, 1989). El primero, llamado *captura conceptual* o *asimilación*, es el proceso mediante el cual una nueva concepción es añadida o reconciliada con lo que el estudiante ya sabe, análogo a la reestructuración débil de Carey (1986). Un segundo tipo de aprendizaje, el *intercambio conceptual* o *acomodación*, es el proceso mediante el cual una concepción reemplaza el uso de otra, análogo a la reestructuración fuerte de Carey (1986). Aun así, cuando en la literatura se habla de intercambio se percibe una especie de tensión cuando se discute si el cambio conceptual es gradual o total. Creo que esto se debe a que la noción de intercambio conceptual se ha aplicado tanto para un proceso de intercambio "holístico" (claramente un proceso no evolutivo), como a un proceso gradual sin cambios repentinos, en el que persisten las concepciones en competencia (Hewson y Thorley, 1989).

Los primeros teóricos del cambio conceptual tan sólo pretendían describir el proceso de intercambio conceptual (Posner et al, 1982), mientras que las aplicaciones subsecuentes del modelo intentan incluir ambas formas de reestructuración (Hewson y Thorley, 1989).

Como consecuencia de lo anterior, la literatura de los últimos diez años revela una gran diversidad de términos para interpretar el cambio conceptual y la razón de ello es que distintos tipos de cambio en la estructura de conocimiento son considerados como cambio conceptual, salvo Dagher (1994), quien opina que estos términos describen el mismo fenómeno.

Por ejemplo, Chi *et al* (1994) consideran que el cambio consiste en trasladar un concepto que está asignado a una categoría ontológica que no le corresponde (fuente de origen de esas ideas alternativas) a la categoría ontológica adecuada. Esto sucede, por ejemplo, cuando el alumno tiene asignado el concepto adaptación a la categoría “deseo” en lugar de a la categoría “evolución”, a la que pertenece desde el punto de vista de la teoría científica.

La visión que Vosniadou (1994) tiene del cambio conceptual es que no se cambia repentinamente una teoría específica de un dominio por una de otro, como propone Carey (1986), sino que habría que distinguir entre la teoría/ marco (que es la teoría ingenua del mundo) y algunas teorías específicas que estarían limitadas por esa teoría marco. Visto así, el cambio conceptual consistiría en una reinterpretación gradual de los diferentes tipos de teorías específicas, especialmente de aquéllas que pertenecen a la teoría marco. Por lo tanto, para que haya cambio conceptual radical en la denominación de Carey, hay que reinterpretar la teoría marco a la que parece que se llega después de reestructuraciones “débiles” de las teorías específicas de un cierto dominio. El cambio conceptual sería entonces un proceso continuo de reestructuración de la teoría marco.

Para White y Gunstone (1989), la enorme dificultad de lograr el cambio conceptual está en que el alumno logre modificar sus creencias. Para ello proponen que es necesario que el estudiante desarrolle ciertas estrategias metacognitivas; visto así, el cambio conceptual implica adoptar cierta perspectiva sobre qué es aprender y cuál es la utilidad de ese aprendizaje. Es decir, el alumno se hace consciente de que tiene determinadas creencias o ideas que discrepan de las de otros individuos o, en este caso, de la comunidad científica. También en este sentido no sólo hay que modificar las ideas de los alumnos, sino también su metaconocimiento sobre los recursos cognitivos de los que dispone para cambiar sus ideas. Respecto a esto, Vosniadou (1994) destaca que el maestro de ciencias debe buscar que los estudiantes tomen conciencia de que sus ideas pueden dar lugar a la formulación de hipótesis que pueden ser comprobadas. En definitiva, lo que facilitaría el proceso de cambio conceptual no es tanto lograr que los alumnos cambien sus creencias e ideas, sino que desarrollen estrategias metacognitivas. De acuerdo a esto, el cambio conceptual no sería sólo “conceptual” sino que además exigiría cambios actitudinales (tener interés por la tarea a resolver, reconocer las discrepancias entre el propio conocimiento y el científico, etc.) y en las habilidades de pensamiento (desarrollo de habilidades metacognitivas).

Es interesante considerar otra visión del cambio conceptual (que ha sido tomado en cuenta en esta tesis), en la que se dedica especial atención al contexto. En ella el cambio conceptual es definido como un proceso que implica la aplicación de las ideas existentes a diferentes contextos (Caravita y Halldén, 1994). Para los que apoyan este enfoque no es tan importante modificar una concepción, sino entender que el alumno no reconoce el contexto en el



que deben emplearse sus ideas (que probablemente son válidas en la vida cotidiana, pero no en el contexto del aprendizaje escolar). Por tanto, con este enfoque habría que buscar que el alumno poseyera varias representaciones mentales y que discriminara el contexto en el que cada una resulta aplicable.

Recientemente varios autores empiezan a cuestionar (Moreira, 1994) los modelos de cambio conceptual que buscan lograr que un estudiante deje una concepción y adopte otra; sugieren entonces que los maestros de ciencia hagan menos énfasis en cambiar los repertorios de los estudiantes y más esfuerzo en fomentar la capacidad de distinguir las conceptualizaciones que resulten apropiadas para un contexto específico. En otras palabras, el maestro debe buscar que el alumno sea capaz de apreciar la adecuación funcional de una o más de sus concepciones.

Si tomamos en cuenta las limitaciones del tiempo en clase, la cantidad de temas que hay que impartir y la disponibilidad limitada para poder atender a todos sus alumnos del modo tan individualizado que exige la enseñanza de este tipo, cabe preguntar si es razonable que el cambio conceptual sea una meta prioritaria en todos los contenidos de la enseñanza. Creo que sería más adecuado distinguir niveles de comprensión en los conceptos incluidos en los temarios, de tal manera que el proceso de cambio fuera gradual y no el objetivo a seguir en un curso académico, sino a lo largo de una etapa educativa. Por otro lado, puede no ser adecuado pretender que el alumno comprenda de manera profunda e integral todo lo que aprende, por eso es que en el capítulo IV se sugieren los temas mínimos que un alumno debe manejar para afirmar que conoce la teoría de la evolución por selección natural. Habría que precisar qué contenidos es necesario que el alumno comprenda y en qué grado, según el nivel educativo en que se encuentre.

Finalmente, no han sido integrados en este enfoque de la enseñanza de las ciencias los aspectos afectivos y motivacionales, que indudablemente tienen un papel muy importante en este proceso. La reciente aportación de Guzzetti y Hynd (1998) puede ser un buen punto de partida.

### III.2 LAS CONDICIONES PARA QUE SE PRODUZCA EL CAMBIO CONCEPTUAL

Los trabajos sobre cambio conceptual de los últimos años no sólo se preocupan por definir este proceso, sino que se refieren a la descripción o explicación del proceso de cambio y a las condiciones para que éste se produzca, pues son importantes desde el punto de vista de la enseñanza.

Con respecto a las condiciones bajo las cuales se produce cambio conceptual, Posner y otros (1982) señalan que en primer lugar, el alumno debe sentir insatisfacción con sus propias concepciones, es decir, debe encontrar un conjunto de contradicciones que se ponen de manifiesto si sostiene sus concepciones. En otras palabras, debe hacerse consciente de que su teoría no es adecuada o suficiente para explicar la realidad y los problemas específicos que se plantean.

En segundo lugar, debe existir una nueva concepción que explique de mejor manera tales problemas que la del alumno. Esta nueva concepción debe ser inteligible.

Para lograr la inteligibilidad existen apoyos didácticos como el uso de las analogías, que juegan un importante papel en la comprensión de nuevas concepciones, sobre la base del conocimiento que los alumnos ya poseen.

En tercer lugar, la nueva concepción debe parecer plausible al alumno, cualidad que se pone de manifiesto, por una parte, en la medida en que la nueva concepción tenga capacidad suficiente para resolver los problemas no resueltos por las concepciones antiguas del estudiante y, por otra, en tanto que la nueva concepción sea consistente con otros conocimientos. Para cumplir con lo anterior es indispensable que el alumno ubique el o los problemas que no puede resolver con sus concepciones alternativas. Por otra parte, si una nueva concepción no resuelve los problemas planteados o es incompatible con lo que el alumno conoce, evidentemente pierde posibilidades de que éste la adopte.

En último lugar, la nueva concepción debería sugerir la posibilidad de aplicarla a un programa de investigación fructífero, es decir, la nueva concepción debería abrir la posibilidad de aportar nuevas soluciones a problemas específicos y a ser funcional en contextos originales.

Se supone que si se enseña de este modo, las viejas concepciones erróneas tendrían más posibilidades de ser descartadas y será más probable que los alumnos aprendan las concepciones científicas que se les proponen en clase. Esta es otra manera de aprender, en la que las nuevas explicaciones se ponen al servicio de la solución de problemas. En el capítulo V se propone esta alternativa de enseñanza de la evolución por selección natural.

Debido a su claridad, el modelo descrito y originalmente propuesto por Posner y colaboradores en 1982 dominó la investigación educativa de los años 80. Pero en 1993 Strike y Posner explican con detalle que con su teoría del cambio conceptual tan sólo intentaban identificar las evidencias que se requieren para reestructurar conceptos mayores o paradigmáticos y que no trataban de hacer una descripción empírica del aprendizaje y mucho menos vislumbraban una aplicación práctica en el aula. Sin embargo, el modelo de cambio conceptual de Posner *et al* ha ayudado a entender cómo ocurre el aprendizaje y éste es el aspecto que ha recibido mayor atención por los educadores en ciencia (Bishop y Anderson, 1990, Hewson y Thorley, 1989; Smith, 1994). A pesar de que Strike y Posner no lo percibieron como una herramienta didáctica, el modelo es capaz de explicar los tipos de conocimiento que pueden cambiar, los patrones de reestructuración del conocimiento, los prerrequisitos para el cambio conceptual, los mecanismos que promueven el cambio y los requerimientos para aceptar la nueva concepción.

Algunos autores entienden el modelo de cambio conceptual como un modelo de aprendizaje (Hewson y Thorley, 1989) y otros más lo utilizan para describir sólo los cambios de las concepciones mayores y organizativas. Como también fue explicado por Strike y Posner en 1993, su modelo no busca describir todo tipo de aprendizaje, sino que pretende describir los cambios que se suceden durante el aprendizaje en ciertas concepciones fundamentales.

Entre los teóricos, donde más acuerdo hay sobre el modelo es en los prerrequisitos para el cambio conceptual, en especial en lo que respecta a experimentar insatisfacción con las concepciones originales y a la posibilidad de que los estudiantes juzguen que una concepción en competencia con la suya sea más inteligible, plausible y fructífera (Chinn y Brewer, 1993; Hewson y Thorley, 1989; Posner et al. 1982).

### III.3 LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS SOBRE CAMBIO CONCEPTUAL

De la generalidad de los trabajos sobre el proceso de cambio conceptual se infieren dos aspectos importantes: a) para que se produzca un cambio conceptual profundo de la estructura del

conocimiento debe existir una necesidad de cambio, que surgirá debido a una insatisfacción o limitación en el uso de una concepción existente; b) para que se produzca cambio conceptual, la insatisfacción con la concepción o teoría existente es necesaria pero no suficiente; debe existir además una nueva concepción que sea comprendida y viable para el aprendiz.

Una vez que el profesor ha logrado sacar a la luz las ideas previas de sus alumnos, en el caso de que sean erróneas, el siguiente paso es hacer que el alumno se sienta insatisfecho con ellas. Pero no se crea insatisfacción en el alumno simplemente diciéndole que su conocimiento previo es incorrecto, sino que hay que demostrárselo o proporcionarle experiencias para que lo compruebe por sí mismo. Es indispensable hacer evidente que el conocimiento previo no es válido, de otra manera no se modificará. Por ello es que el maestro debe introducir ejemplos que no puedan ser explicados por la concepción previa del alumno y de esta forma cuestionará su propia concepción, lo que hará que surja un conflicto cognitivo. Por ejemplo, si el alumno tiene la idea de que el medio produce cambios directos y heredables en los individuos, el profesor puede auxiliarse explicando algunos de los experimentos de Weissmann. Estos pueden ser consultados en varios textos sobre evolución, aunque es particularmente accesible la descripción que de ellos hace Mayr (1991).

Sin embargo, hay que recalcar que para que se produzca un cambio teórico en la estructura del conocimiento, debe existir una concepción científica alterna a la concepción previa del estudiante. En este trabajo he encontrado que al aplicar el modelo del cambio conceptual en el aula, la necesidad de cambio producida por una insatisfacción o conflicto no garantiza el cambio, salvo que exista una concepción en competencia. Éste es para muchos autores el aspecto práctico más difícil del modelo, ya que hay que mostrar que una concepción intuitiva tiene desventajas frente a la concepción científica, porque finalmente como dicen White y Gunstone, (1989), ¿cuál es la desventaja para los alumnos de creer que las jirafas alargaron su cuello para alcanzar las hojas? En este caso habrá que señalar a los alumnos que las explicaciones lamarckianas no tienen un sustento experimental, al contrario de lo que ocurre con la mutación no direccionada y el papel de la selección natural en la evolución, que han sido mostrados experimentalmente a través de la selección artificial.

Por otro lado, la concepción científica que el profesor facilita al alumno debe ser bien comprendida. Por lo tanto otro punto clave del modelo es que el estudiante debe encontrar inteligible la nueva concepción antes de que pueda considerar su plausibilidad y utilidad como para poder acomodarla en sus estructuras cognitivas (Hewson, 1988); lo que a su vez no sucederá si de origen los maestros no entienden el significado del término inteligibilidad. En 1996, Thorley y Stofflett proponen que la esencia de la idea de inteligibilidad radica en la manera en que la concepción es visualizada, y en este sentido juegan un papel muy importante las imágenes dado que para algunos autores (Abell, 1995) la información visual es procesada como si fuera el propio conocimiento. Sin embargo, hay quienes sostienen que la información visual obstaculiza la formación de conceptos (Martin, 1987). Para Hewson y Thorley (1989) en cambio, la inteligibilidad consiste en poder detectar si el estudiante comprende el significado de un concepto o según Abell (1995), cómo lo conecta con otros conocimientos. Finalmente, para hacer frente a todas estas situaciones se requiere de una adecuada enseñanza expositiva; si ésta no ocupa un lugar importante en el aula, será muy difícil que los alumnos adquieran conocimiento nuevo.

Lo que es claro es que el primer paso para el cambio conceptual es que el aprendiz logre hacer una reflexión profunda acerca de sus propias concepciones, para lo cual no basta que el nuevo concepto le sea inteligible: es necesario que descubra la productividad o la utilidad de la nueva concepción. Dado que lograr que los alumnos reflexionen con profundidad implica mucho más trabajo en el aula, los maestros que basan su práctica educativa en los modelos de cambio conceptual, se centran en la inteligibilidad y muy poco en la productividad de los conceptos, por lo que no llegan a la meta deseada.

Para favorecer la plausibilidad, que es el siguiente paso del modelo de cambio conceptual, el profesor debe trabajar en la resolución del conflicto entre las concepciones del alumno y del científico y también debe mostrar al alumno que la concepción científica que le propone resuelve los problemas que la concepción previa del alumno no solucionaba. Por ejemplo, no es suficiente que el profesor presente una explicación del tipo: la selección natural actúa sobre la variabilidad. Debe hacer que esta concepción se comprenda a partir de ejercicios en los que se entienda de dónde proviene la variabilidad, además debe relacionar esta nueva idea con el desconocimiento de la variabilidad con la que el alumno inicia la actividad, lo que ayuda a resolver el conflicto entre las concepciones. Por último, debe mostrar al alumno cómo la nueva concepción explica que la selección natural no puede “elegir” sobre organismos idénticos.

### III.4 LA MEDICIÓN DEL CAMBIO CONCEPTUAL

Algunas publicaciones sobre cambio conceptual (Hewson, 1988; Treagust et al, 1996) mencionan que además de las diferencias ya conocidas entre las ideas de los estudiantes y las de los científicos, están las diferencias en sus calidades (que los investigadores llaman “estatus de las concepciones”). De acuerdo con esta denominación, las concepciones alternativas suelen tener un alto estatus en la mente del que aprende y las científicas un estatus bajo o nulo; de esta manera, el fin de la enseñanza por cambio conceptual sería elevar el estatus de la concepción científica sobre el de la alternativa en la mente del que aprende.

Visto en estos términos, cuando el estudiante se enfrenta a una nueva concepción, pueden ocurrir dos eventos (Hewson y Thorley, 1989):

La nueva concepción puede ser incorporada a la concepción existente si el estudiante encuentra a la primera más inteligible, plausible (que se incorpora sin contradicción con concepciones ya existentes) y probablemente fructífera (que vale la pena invertir esfuerzo para aprenderla). De esta manera el estatus de la nueva concepción se eleva en un proceso que Hewson llama captura conceptual y que equivaldría a la asimilación propuesta por Posner.

Si la nueva concepción es inteligible al estudiante pero parece estar en contradicción con concepciones preexistentes pero relevantes, no podrá ser considerada plausible. Esto ocurre porque las concepciones conflictivas no pueden parecer plausibles. En este caso la aceptación de la nueva concepción estará bloqueada por la ya existente y para que pueda ser aceptada, deberá bajarse el estatus de la antigua concepción antes de poder subir el de la nueva. A este proceso al que Posner llama acomodación, Hewson lo denomina intercambio conceptual y es el que ha recibido más atención en la literatura, a pesar de que es el más difícil de alcanzar en comparación con la captura conceptual.

Este enfoque en el cambio del estatus de las concepciones remite a dos problemas: uno es cómo saber el estatus de las concepciones tanto del estudiante como de la científica, y el otro cómo subirlo o bajarlo.

En búsqueda de estrategias que puedan emplear los maestros para monitorear el estatus de las concepciones de sus estudiantes para ayudarles a lograr el cambio conceptual, Hewson y Thorley (1989) proponen encontrar primero evidencias de que se están dando las condiciones del cambio conceptual propuestas por Posner. Dichas evidencias pueden buscarse a través de preguntas como las siguientes:

¿Es inteligible la nueva concepción para el estudiante? ¿la comprende? ¿la puede representar de alguna manera?

¿Es esta idea plausible? ¿le hace sentido? Si fue inteligible ¿cree el alumno que es cierta? ¿es la nueva concepción consistente y capaz de reconciliarse con otras concepciones del estudiante?

¿Es productiva? Si le es inteligible ¿le encuentra algún valor? ¿le resuelve problemas de otras áreas? ¿le sugiere nuevas direcciones o posibilidades?

Dado que este seguimiento no es trivial, Treagust *et al* (1996) opinan que muchas investigaciones empíricas suponen que ha tenido lugar el cambio de estatus de las concepciones del estudiante, cuando en realidad éste ni siquiera ha sido medido. Menciona como ejemplo al trabajo de Jensen y Finley (1995), quienes desarrollaron una técnica para enseñar evolución darwiniana con argumentos históricos y con base en el modelo de Posner, pero que no toman en cuenta los cambios en el estatus de las ideas de los alumnos sobre evolución en términos de inteligibilidad, plausibilidad y productividad.

El aumento del estatus de una concepción científica se mide a través de cuestionarios o entrevistas, para ver si ésta pasó a ser parte del esquema de conocimientos del estudiante, aunque en la práctica no es claro para el maestro qué significan el alto y el bajo estatus.

Hewson y Thorley (1989) y Treagust *et al* (1996), al examinar el desarrollo de las concepciones en términos del modelo de Posner, encuentran que una concepción que es percibida como inteligible, plausible y fructífera por el estudiante, puede ser de alto estatus, mientras que una que únicamente es inteligible es de bajo estatus. Aun así, la clasificación del estatus de las concepciones no es clara en la práctica, porque lo que se está midiendo en las pruebas es tan sólo si las nuevas concepciones científicas son inteligibles. La única forma de determinar si les son en conjunto inteligibles, plausibles y fructíferas a los alumnos, es indagar si las pueden aplicar a la solución de problemas. Para todos aquellos que hemos utilizado esta perspectiva epistemológica, el cambio conceptual ocurrirá sólo cuando una concepción científica adquiera el estatus alto, de acuerdo con estas condiciones. En cambio Hewson considera que basta con que se dé la insatisfacción con las ideas previas, para que ocurra el cambio en el estatus de la concepción científica.

En la práctica resulta difícil bajar el estatus de las concepciones alternativas dado que un primer paso es definir dicho estatus, lo que es de por sí complicado en el aula, ya que requiere dedicarle tiempo, diseñar pruebas especiales y tener un criterio válido de comparación. Esta dificultad intenta ser subsanada en esta tesis con la propuesta de una metodología que permite detectar y clasificar con relativa facilidad las concepciones alternativas. Por otro lado, esta metodología implica aplicar entrevistas o plantear preguntas generativas (es decir, que generen otras preguntas) a los alumnos, que permiten determinar el estatus de las concepciones, sobre todo en los casos en que queden dudas con la aplicación de cuestionarios. Lo anterior ha sido sugerido por Treagust et al (1996) y Tyson et al (1997) y se ha llevado a cabo en la investigación práctica de este trabajo.

### III.5 LA DINÁMICA DEL CAMBIO CONCEPTUAL

En la mayor parte de las investigaciones sobre cambio conceptual se ha dedicado especial atención a los procesos que dan lugar a aquel cambio profundo y complejo en la estructura del conocimiento, al que se llama acomodación. Esto es, la teoría del cambio conceptual de Posner está enfocada a la acomodación pero de concepciones globales y organizadoras. El cambio holístico que este autor describe fue comprobado en este trabajo, sin embargo, algunos resultados obtenidos no concuerdan con la restringida descripción del cambio que sugiere el proceso normativo de Posner *et al.* De acuerdo a los patrones de cambio documentados en esta tesis, se puede afirmar que el cambio conceptual holístico no es el único patrón esperado en la reestructuración del conocimiento de los conceptos globales y organizadores del aprendiz, ya que los patrones de cambio conceptual encontrados no corresponden exactamente a los sugeridos en el modelo de Posner; incluyen cambios incrementales (sugeridos por Nussbaum, 1989), y construcciones duales, en las cuales se elaboran y utilizan concepciones en competencia, además de otras, donde el uso de la construcción previa es parcialmente retenida, como ya lo sugirió Carey (1986).

Pero más importantes que los diferentes patrones de cambio conceptual son los procesos que llevan a estos patrones. La detección de cambios por incremento implica que el aprendiz está modificando ligeramente sus concepciones por otras más útiles. Es decir, fue raro encontrar la competencia entre concepciones, la abrupta disonancia cognitiva y la discriminación entre paradigmas rivales como lo propone el modelo de Posner. El aprendizaje por cambios incrementales (muy común en este trabajo), es un proceso más gradual, menos dualista. Esto no significa que los cambios incrementales sean de menor importancia para el aprendizaje, sino que el cambio es un proceso mucho más gradual de lo que postula el modelo.

Los patrones de concepciones duales más bien deberían ser vistos (en términos del modelo) como casos aislados del cambio conceptual. Algunas investigaciones anteriores han documentado la existencia de inconsistencias en los marcos conceptuales de los estudiantes (Carey, 1986) que aunque contradicen la lógica implícita en los cambios descritos por el modelo, son una realidad que ocurre en el aula. Como se mostrará en la segunda parte de esta tesis, hay alumnos que al estar aprendiendo sobre evolución por selección natural no experimentan un cambio total, sino que su marco conceptual se reestructura, aunque de forma menos ordenada que lo que sería aceptado por los teóricos del modelo. Por otro lado hay estudiantes que se basan más en la intuición, el instinto o la experiencia personal para modificar sus ideas.

En una revisión más reciente (1993) del modelo de Posner, sus propios autores consideran que para comprender la naturaleza del cambio conceptual es necesario, por un lado, explicar las condiciones bajo las cuales se produce y por otro, identificar qué elementos gobiernan el cambio conceptual, lo que algunos autores (Moreira, Hewson, etc ) llaman ecología conceptual.

La ecología conceptual se entiende como el contexto conceptual para el aprendizaje, que incluye aspectos del conocimiento previo del que aprende, analogías, metáforas y compromisos metafísicos y epistemológicos. Además se considera que de esta ecología forman parte las creencias y los conceptos ya existentes, sean erróneos o adecuados. Se entiende que cada componente de la ecología conceptual juega un importante papel en la elección de los nuevos conceptos, al igual que la motivación y la calidad del material que se va a aprender. De acuerdo con esto, Strike y Posner sugieren que una ecología conceptual es interactiva por naturaleza, de manera que influye sobre las concepciones y éstas a su vez afectan a la ecología. Esta descripción de la ecología interactiva implica una percepción diferente del cambio lineal que originalmente habían propuesto modelos como el de Posner. Aunque se reconozcan las bases lógicas racionales del modelo original, lo que adquiere más importancia en la práctica es saber cómo lograr que el estudiante acepte la nueva concepción. En la formulación original del modelo, el intercambio conceptual se caracteriza por la aceptación o la creencia en la nueva concepción. Sin embargo, Smith (1994), explica que el cambio conceptual no necesariamente implica convicción o afecto, aunque reconoce la importancia de que los estudiantes apliquen el nuevo concepto y reconozcan su utilidad. Tal visión está de acuerdo con la descripción general del cambio conceptual que parte de que el verdadero aprendizaje ocurre cuando el alumno acepta la plausibilidad de la nueva concepción y la aplica consistentemente a la solución de nuevos problemas (Jiménez, 1992). Para lograr este último punto, en el capítulo V se sugiere la metodología que encontré más adecuada en la práctica.

Sin embargo, no puede dejarse de mencionar la idea de Moreira (1994) sobre la imposibilidad de lograr el cambio conceptual porque lo que ocurre en la mente del estudiante es simplemente un enriquecimiento conceptual mas no una sustitución de conocimientos.

El modelo de Posner nos ofrece una descripción bastante clara del proceso de aprendizaje y ha sido muy útil para ayudarnos a comprender lo que significa aprender ciencia; sin embargo, como se ha mostrado en los párrafos anteriores y como se ha encontrado en la parte práctica de este trabajo, el modelo tiene algunos puntos complicados durante su aplicación, que los mismos Strike y Posner sugieren que sean estudiados con detalle.

La presente investigación fue diseñada en parte para conocer los límites y la aplicabilidad de la teoría del cambio conceptual en un área específica de la ciencia como es la teoría de la evolución; para ello se analizó la forma en que los alumnos reestructuran el conocimiento durante el proceso de aprendizaje. Cuando señalo que los patrones encontrados no siempre corresponden a la propuesta de Posner, no intento decir que haya estudiantes que sigan patrones específicos de reestructuración cognitiva, pero sí que hay muchos casos que se desvían de esa descripción.

Este trabajo es parte de un estudio mayor en el que se documentan también la influencia de la ecología conceptual en el aprendizaje, el logro de la inteligibilidad de las nuevas concepciones a través del uso de analogías y la influencia de distintos métodos de instrucción sobre el cambio conceptual.

#### IV. LOS TEMAS QUE DEBE ABARCAR LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA EVOLUTIVA

Se considera importante que en la enseñanza de cualquier ciencia los maestros tengan un enfoque epistemológico, y que discutan constantemente con sus estudiantes acerca de las leyes, hipótesis y teorías, en especial en aquellos temas que provocan controversias como es la evolución (Villani, 1992), donde se abordan explicaciones históricas y probabilistas que no se ajustan a la visión común de la ciencia.

Este enfoque en la enseñanza implica que desde que se traten los temas científicos, el maestro deberá hablar de la naturaleza de la ciencia y de su manera de proceder, lo que permitirá al alumno situarse en ese campo, conocer la manera de trabajar del científico y lograr una mejor comprensión de las diferentes posturas científicas. Con esto no se pretende dar a los alumnos un curso sobre epistemología y filosofía de la ciencia, pero sí es necesario mostrarles que las teorías científicas son susceptibles de ser probadas, que sus conclusiones son tentativas y no finales, y que eventualmente pueden ser reemplazadas o modificadas a medida que avanza el conocimiento.

En el caso particular de la enseñanza de la evolución, se ha planteado que gran parte de su problemática pedagógica proviene de considerar a la evolución como una teoría, en un contexto coloquial donde teoría e hipótesis significan “especulación” como ocurría en el siglo XIX. Por tanto, varios autores, (Dagher, 1997; Scharmann, 1993; Korthagen y Lagerwerf 1995) recomiendan un tratamiento de la biología con un enfoque de indagación, en el que reciban más atención el contexto de la disciplina y su metodología, que el propio conocimiento. Este enfoque no sólo es importante para los estudiantes que justificadamente rechazan la teoría de la evolución porque la perciben como tentativa, sino también para aquéllos que la aceptan dogmáticamente sólo por estar escrita en el libro de texto.

Pearson (1988) propone minimizar el conflicto de los estudiantes con la teoría de la evolución, que en ocasiones se traduce en una discusión innecesaria sobre creacionismo (Scharmann, 1993), mediante la separación del tema de la evolución del debate de los orígenes de la vida, la aclaración del término teoría, la exploración de la naturaleza del conocimiento científico y el subrayar más la comprensión conceptual que la creencia. En secundaria y preparatoria se sugiere sobre todo evitar los temas controvertidos, pues se sabe que cuando los adolescentes se enfrentan a un conflicto, tienden a resolverlo de acuerdo a su experiencia individual, a su sentido de la lógica y en términos dicotómicos (Scharmann 1993), por lo que suelen plantearse al creacionismo como antítesis de la evolución. Esto provoca un choque con algunos maestros que tienen una comprensión limitada de la naturaleza de la ciencia y esperan que sus alumnos piensen como científicos, cuando no tienen más que la capacidad de discernir en forma dualista, es decir sólo conciben los extremos, o creación o evolución. El resultado de esto es que los maestros ignoran el conflicto del alumno y presentan la evolución como un hecho indiscutible o, en el otro extremo, ni siquiera mencionan la palabra evolución (Rosenthal 1985). En ambos casos lo que ocurre es que se pierde la función unificadora que tiene la evolución dentro de la biología.

Una vez planteada la necesidad de que el maestro conozca y transmita un mínimo acerca de la historia y epistemología de la ciencia, y antes de que aborde la teoría de la evolución frente al grupo, es también indispensable que comprenda el contexto en el que ésta surgió, ya que existen evidencias de que esto le permitirá entender y afrontar con tranquilidad los cuestionamientos de sus alumnos (Wandersee, 1986; Monk y Osborne, 1997; Rudolph y Stewart, 1998



En este cuarto capítulo se hablará del mínimo de conocimientos que los maestros deben transmitir a sus alumnos sobre epistemología de la ciencia y sobre el tema de la evolución por selección natural. Se hace hincapié en los puntos más difíciles de enseñar y se proponen secuencias temáticas para diferentes niveles educativos.

#### IV.1 LA ENSEÑANZA ESCOLAR DE LAS CIENCIAS

La enseñanza constructivista basada en las ideas de Vigotsky y Piaget, postula que la enseñanza escolar de las ciencias se inicia con la propia construcción que los niños hacen de la realidad, de manera que para que los maestros conozcan de dónde partir en la enseñanza, deben buscar que sus alumnos expresen sus propias ideas y las puedan aplicar en diversas situaciones; lo que evitaría, de acuerdo con el constructivismo, la tendencia de los maestros de ciencias a intentar imponer verdades.

Villani (1992) considera que en la enseñanza de las ciencias pueden presentarse posiciones extremas de coincidencia o discrepancia en cuanto a las ideas estudiantiles acerca de los fenómenos científicos. Rowell, 1985, (citado por Villani) sugiere que tanto las concepciones semejantes a las científicas como las discordantes, deben ser tratadas con diferentes estrategias de enseñanza. En el primer caso, sería mejor introducir ex novo un modelo académico y trabajar con él muchos ejemplos simplificados para finalmente hacer comparaciones con el modelo original. En el segundo caso, sería mejor empezar directamente sobre las ideas de los estudiantes, generalizándolas lo más posible e introduciendo progresivamente los cambios necesarios hasta hacerlos compatibles con aquello que se está aprendiendo. En ambos casos habrá necesidad de conocer de antemano las ideas de los estudiantes, lo que no suele hacerse en la práctica.

La tendencia popular de ver a la ciencia con posturas extremas, complica su enseñanza: cambio revolucionario contra cambio gradual, ciencia teórica contra práctica, filosófica contra aplicada, proceso contra producto (Scharmann 1993). Tales dicotomías son sin duda una distorsión de la concepción de la ciencia que debería ser evitada durante su enseñanza, para lo cual se requiere que los maestros tengan por lo menos un mínimo de preparación en filosofía de la ciencia; porque el hecho de que un maestro imparta una materia de contenido científico no implica que comprende la naturaleza de la ciencia, por lo que no la transmite.

Es por ello que actualmente se sugiere integrar más directamente las teorías científicas y la historia de su desarrollo a la instrucción en ciencias en todos los niveles educativos, incluyendo a los de formación de maestros.

Es importante iniciar la enseñanza de la ciencia y en particular de la teoría de la evolución, señalando que la ciencia busca la organización sistemática del conocimiento acerca del mundo, se interesa por fórmulas, leyes generales y teorías que relacionan diferentes fenómenos y procura explicar los sucesos observables. También es posible entenderla como el conjunto de explicaciones que se han dado a los fenómenos naturales y de los métodos seguidos para llegar a tales explicaciones. El conocimiento científico surge por consenso entre los científicos a partir del conocimiento previo y aunque no siempre concuerdan en algunas cuestiones no establecidas, suelen coincidir con el conocimiento ya establecido.

Dentro de la información que el maestro debiera manejar durante la enseñanza de las ciencias están también las bases de la metodología científica que tiene dos etapas, una es la creación de hipótesis y teorías y la otra es la contrastación de esas teorías. Por ello es que las teorías en un principio aceptadas pueden ser después sustituidas por otras. Las hipótesis son aceptadas en tanto que las observaciones y los experimentos no las desmientan, de ahí la importancia de la experimentación y la observación. De esta manera, ninguna teoría es definitiva sino que está sujeta a ser rebatida por conocimiento más preciso.

Los científicos saben que la certeza no es inherente al método de la ciencia y que ésta avanza cuando algunos científicos refutan teorías; los enunciados científicos son objetivos en la medida en que pueden ser puestos a prueba (Ruiz y Ayala, 1998).

También es importante que los maestros y alumnos conozcan el trabajo de algunos filósofos de la ciencia como Thomas Kuhn e Imre Lakatos. El primero propone que la ciencia no es la actividad de científicos aislados, sino de toda la comunidad científica que los legitima. Por su parte, Imre Lakatos dice que las comunidades de científicos no producen teorías aisladas, sino programas de investigación alrededor de sistemas teóricos a los que llama *núcleo duro*, protegidos por teorías secundarias que son provisionalmente irrefutables. Lakatos sostiene la creación de hipótesis auxiliares.

## IV.2 ALGUNOS PUNTOS QUE REQUIEREN TRATAMIENTO ESPECIAL AL ENSEÑAR LA TEORÍA DARWINISTA

En la Primera Parte de esta tesis me referí a las dificultades que implica la enseñanza de la evolución por selección natural. Considero que un primer paso para abordarla en el aula es dejar claro a los estudiantes la serie de inferencias que Darwin planteó para proponer su teoría. En este sentido considero que una de las mejores reconstrucciones de ese proceso inferencial ha sido planteado por E. Mayr (1982) en su obra *The growth of biological thought*.

La teoría de Darwin según Mayr consiste en tres inferencias basadas en cinco hechos:

Hecho 1: las especies tienen una gran fertilidad potencial, de manera que el tamaño de su población se incrementaría exponencialmente si todos los individuos que van naciendo se reprodujeran con éxito .

Hecho 2: excepto por fluctuaciones anuales menores y fluctuaciones ocasionales mayores, las poblaciones suelen ser estables.

Hecho 3: los recursos naturales son limitados. En ambientes estables, permanecen relativamente constantes a lo largo del tiempo.

Inferencia 1: dado que se producen más individuos de los que pueden ser mantenidos con los recursos disponibles, debe haber una fuerte lucha por la existencia entre los individuos de una población, lo que resulta en que sobrevive sólo una pequeña parte de la progenie de cada generación.

Estos hechos que se derivan de la ecología de poblaciones, combinados con ciertos principios de la genética, llevan a lo siguiente:

Hecho 4: no hay dos individuos exactamente iguales, más bien las poblaciones muestran una gran variabilidad.

Hecho 5: gran parte de esta variación es heredable.

Inferencia 2: la supervivencia en la lucha por la existencia no es al azar, sino que depende en parte de la constitución genética de los individuos que sobreviven. Esta supervivencia desigual constituye un proceso de selección natural.

Inferencia 3: a través de las generaciones este proceso de selección natural llevará al cambio gradual de las poblaciones, esto es, a la evolución y a la producción de nuevas especies.

Creo que otra parte de las dificultades en la enseñanza del tema provienen de la forma en que se interpreta la obra de Darwin. Por tanto, me propongo mencionar a continuación algunas de las ideas que mayores problemas generan en su enseñanza.

- Hay que recordar que Darwin no sólo se enfrentó al problema de convencer al público y a los científicos, sino también a la necesidad de plantear un mecanismo que explicara el cambio en los seres vivos y su adaptación al ambiente.
- *Quien imparte la clase de evolución por selección natural debe tener presente que un argumento central del darwinismo es que todas las especies se reproducen en mayor proporción de la que es posible que sobreviva en un territorio (el otro es que la variación individual ocurre al azar). Esta sobreproducción aunada a una limitación de recursos provoca una lucha por la existencia. Pero los organismos portadores de alguna variación que mejora sus posibilidades de aprovechamiento del lugar que ocupan en la economía natural, tienden a tener un mayor número de descendientes. A su vez, los descendientes modificados orientarán la transformación de la especie en ese nuevo sentido. De esta manera, la teoría de Darwin resuelve el problema de explicar el carácter adaptativo de los organismos. Hay que recalcar a los alumnos que la selección natural es el único mecanismo que explica la adaptación.*
- Es necesario mencionar a los alumnos que la biología evolutiva pretende explicar la diversidad biológica y la adaptación. La primera, entendida como la coexistencia de diversas "entidades" (Núñez-Farfán y Cordero, 1993); la adaptación, como el ajuste fino de los organismos al ambiente. Ambas ocurren a diferentes niveles de complejidad: molecular, celular, individual, poblacional y comunitario. En torno a la diversidad, los biólogos se interesan por estudiar los procesos que la generan a los diferentes niveles, y los procesos de pérdida y ganancia de distintas entidades que afectan la diversidad ya existente.

- Darwin postula además que las variaciones adaptativas aparecen ocasionalmente, y que su presencia incrementa las oportunidades reproductivas de sus portadores (por eso se les llama adaptativas), de manera que a través de las generaciones, las variaciones favorables tenderán a ser conservadas y las perjudiciales eliminadas.
- Respecto a la variación, Darwin consideraba que si ésta fuera brusca, traería como resultado una desorganización de las partes del organismo, lo que impediría la supervivencia; por ello, pensaba que el diseño que permitía la adecuación de los organismos al ambiente era el resultado de cambios graduales que se acumulan por acción continua de la selección natural.
- Igualmente, aunque pareciera que los órganos están hechos para una función determinada, Darwin tuvo que dar una respuesta, ya sin mencionar un creador, a la antigua discusión sobre las causas del diseño de los organismos. Es importante subrayar aquí que muchos maestros consideran que la afirmación de que los órganos tienen una utilidad es errónea dado que expresa un pensamiento teleológico de tipo lamarckiano. Sin embargo, los órganos están adaptados para llevar a cabo una función, solamente que la diferencia entre el pensamiento lamarckiano y el darwiniano en este punto está en las causas de dicha adaptación.

### IV.3 OTROS CONCEPTOS QUE HAY QUE ABORDAR CUIDADOSAMENTE

#### A) El pensamiento de Lamarck

La literatura sobre la enseñanza de la evolución se refiere continuamente al pensamiento lamarckiano o lamarckista como antítesis del pensamiento darwiniano, lo que deja confusión en los estudiantes, ya que interpretan que el primero es totalmente despreciable. Es necesario por lo tanto, mencionar algunos puntos que convendría reconsiderar cuando se habla de lamarckismo, con el fin de evitar aplicar esa denominación a las concepciones populares sobre la evolución.

A principios del siglo XIX, algunos naturalistas hablaban ya de la transformación de las especies; sin embargo, es Lamarck quien plantea una explicación al respecto. Lamarck no sólo brinda la primera teoría de evolución, sino que también hace grandes aportaciones a la historia natural y a la filosofía de la biología. Es también el creador del término “biología”.

Lamarck consideraba que nada es constante en la naturaleza, que las formas orgánicas se desarrollan gradualmente unas de otras, que la naturaleza tiene una historia, y que durante largos periodos los seres vivos han ido desarrollando formas cada vez más complejas.

La idea directriz del pensamiento lamarckiano es que la naturaleza ha producido gradual y sucesivamente los diversos grupos de los seres vivos, desde los más simples hasta los más complejos: Lamarck se oponía a la creencia en la inmutabilidad de las especies.

La teoría de la evolución de Lamarck, planteada en su obra más conocida *La Filosofía Zoológica* (1809) menciona de manera muy resumida lo siguiente:

- a) La naturaleza ha formado a todos los seres vivos a través de largos periodos.
- b) La naturaleza forma continuamente a los organismos más simples por medio de generación espontánea.
- c) Las formas vivientes se han ido produciendo poco a poco a partir de los primeros esbozos animales y vegetales en lugares y circunstancias favorables, mediante la propiedad inherente a la vida de hacer progresar la organización y bajo la influencia de nuevas circunstancias ambientales y de nuevos hábitos.
- d) Las especies se han formado gradual y sucesivamente; tienen sólo una constancia relativa.

Pero Lamarck no sólo postuló una teoría general de la evolución, sino que intentó dar una explicación a los fenómenos evolutivos y sus causas. El mecanismo de transformación de Lamarck plantea que un cambio permanente en el medio produce un cambio en las necesidades de los organismos, lo que conduce al desarrollo de nuevas acciones que traen como resultado nuevas costumbres. Dichas costumbres implicarían el mayor uso de ciertas partes del organismo y el desuso de otras y la modificación de la especie ocurriría al heredarse los nuevos caracteres adquiridos a la siguiente generación (por lo que Lamarck creía que al menos dos organismos de diferente sexo debían tener la modificación).

Así pues, para explicar lo anterior, Lamarck plantea dos leyes:

1. “En todo animal, el uso más frecuente y sostenido de un órgano cualquiera lo fortifica poco a poco, lo desarrolla, lo agranda y le da una potencia proporcional a la duración de ese uso; mientras que la falta constante de su uso, lo debilita, lo deteriora y disminuye progresivamente sus facultades, hasta que termina por hacerlo desaparecer”.
2. “Todo lo que la naturaleza ha hecho adquirir o perder a los individuos de acuerdo a las circunstancias a las que estén expuestos, lo conservan a través de la generación de nuevos individuos que provienen de ellos, siempre y cuando los cambios sean comunes a los dos sexos o a los padres”.

Estas dos leyes a las que se les ha llamado de uso y desuso de los órganos y de la herencia de los caracteres adquiridos, son las concepciones lamarckianas que más difusión han tenido y que salen a relucir siempre que se menciona a Lamarck. Por ello se les denomina lamarckianos a los que defienden la heredabilidad de los caracteres adquiridos o a quienes opinan que las modificaciones producidas por el ambiente en un organismo originan variaciones correlativas en su material hereditario.

Estas ideas tuvieron gran difusión en el siglo pasado, y en el primer tercio de este siglo fueron reforzadas por los neolamarckistas. Las ideas de Lamarck han caído en el descrédito porque las investigaciones de los neolamarckistas no fueron convincentes, en gran parte porque se prestaban a múltiples interpretaciones, y porque la investigación biológica no confirma ninguna de las dos leyes.

Dos principios explicativos, aunque científicamente erróneos, son consistentemente mencionados como base del pensamiento lamarckiano: 1) el efecto directo del ambiente y 2) la evolución por voluntad.

1) El efecto directo del ambiente

Vulgarmente, el lamarckismo es la creencia en una inducción dirigida de cambios hereditarios en los organismos debidos al ambiente. Mayr (1972) señala que Lamarck rechazó enfáticamente la existencia de tal causa evolutiva y que él mismo explicó lo que había querido decir con esa frase: “El ambiente afecta la forma y la organización de los animales, es decir, que cuando el ambiente cambia mucho, con el tiempo produce modificaciones correspondientes en la forma y organización de los animales”. En efecto, el ambiente puede incidir en cambios heredables directamente, pero sólo en las células germinales, y no de manera dirigida.

2) El efecto de la voluntad

El otro principio erróneamente imputado a Lamarck es la efectividad de la voluntad como causa de modificación en los seres vivos. Según Cannon (1957, citado por Mayr) Lamarck nunca dijo algo así y el error presumiblemente surgió de una mala traducción del verbo “besoin” hacia “need” en inglés y su traducción al español como “deseo”. “Besoin” se refiere a una nueva necesidad material (de alimentación, humedad, etc.) y “need” se interpreta como una necesidad interna o subjetiva.

Por tanto, las llamadas ideas lamarckianas más bien han pasado a ser sinónimo de ideas populares que en general se refieren a la concepción de que los organismos cambian por un “deseo” o por presiones ambientales; y como tales han sido consideradas en esta tesis.

B) Conceptos claves en el darwinismo difíciles de abordar

1) La variación

La selección natural sólo puede actuar si hay variabilidad entre los individuos de una especie. Darwin afirma que la selección nada puede hacer sobre un solo individuo aunque éste herede variaciones provechosas, y supone, como era común en su época, que hay dos tipos de variación, la variación pequeña y gradual y las variaciones bruscas o “sports”.

Por otra parte, aceptó tres causas de la variación: la acción directa del medio, el uso y desuso de los órganos y la variación espontánea. Como resultado de las dos primeras se producen caracteres adaptativos que son el resultado de la adaptación del organismo al ambiente. Estas variaciones adaptativas pueden ser apoyadas por la selección natural. En cambio, las variaciones espontáneas que surgen sin una relación directa con los requerimientos del organismo, serán objeto de la selección natural. Una aportación primordial de Darwin es el descubrimiento de la variación al azar.

## 2) La lucha por la existencia

Se trata de una metáfora que es interpretada muchas veces como una lucha cuerpo a cuerpo, pero en realidad con este concepto Darwin se refería a las relaciones entre los seres vivos y el medio ambiente. La lucha por la existencia es un concepto puramente ecológico que incluye el impacto de todas las relaciones ecológicas posibles como depredación, parasitismo, competencia, efectos del clima, etc. El mismo Darwin señaló que el término tiene un sentido metafórico y que incluye la dependencia tanto entre organismos como de éstos con el ambiente, pero sobre todo se refiere a la competencia entre especies del mismo género, de variedades de la misma especie y la intraespecífica, que provoca la lucha entre los organismos que comparten necesidades.

La noción de lucha por la existencia es básica para comprender las concepciones ecológicas de Darwin, ya que con ella analiza la forma en que el crecimiento o decremento de una población afectan el crecimiento de otras especies.

## 3) La divergencia de caracteres

La divergencia de caracteres favorece el aumento de la diversidad biológica debido a la especialización en la explotación de un nicho en la economía de la naturaleza. El argumento es que mientras más diferenciada (respecto a otras especies) sean la estructura, la constitución y los hábitos de la descendencia de cualquier especie, ésta tendrá más capacidad de acomodarse en los diversos lugares en la economía de la naturaleza. Esto implica una cierta especialización en la explotación de los diferentes nichos y a la vez no entrar en competencia con otra especie, lo que favorecerá a ambas pues podrán incrementar su número con facilidad. Gracias a que la selección natural favorece este proceso, la diferencia entre variedades de una misma especie se agranda y así se propicia el aumento en la diversidad de especies.

## 4) La diversidad

Los biólogos consideran que la selección natural es la fuerza que ha producido a lo largo de más de 3000 millones de años, las diferentes especies de organismos en la Tierra, lo que se traduce en una extraordinaria variedad de formas vivientes que constituyen la diversidad.

El término diversidad presenta algunas dificultades en su enseñanza; esto se debe principalmente a que el término se suele confundir con la variedad o variabilidad (término que designa la presencia de diferencias genéticas entre los individuos de una población); con el rango de tipos en un grupo de seres vivos, por ejemplo, la diversidad animal o vegetal; o bien con su connotación ecológica, que es la medida del número de especies que coexisten en una comunidad.

## 5) La especiación

En el cuarto capítulo del *Origen de las especies*, en el que se expone el núcleo de la teoría de Darwin, éste explica el proceso por el que se producen las nuevas especies: un requisito para que se formen dos o más especies a partir de una, es la separación reproductiva de dos o más poblaciones. Darwin planteó dos modelos básicos de especiación que siguen vigentes hoy en día aunque con importantes avances.

## 6) La extinción

A pesar de que los críticos de Darwin opinaban que el registro fósil era evidencia en contra de la evolución gradual, para Darwin los fósiles son una de las pruebas principales de la evolución.

Darwin defiende la gradualidad, rechaza la posibilidad de que las especies aparezcan por saltos y considera a la extinción como resultado de la acción de la selección natural.

Ante la ausencia de formas intermedias en el registro fósil, Darwin opina que simplemente las investigaciones paleontológicas no han revelado la existencia de gradaciones.

#### 7) El progreso

El darwinismo rechaza la idea de que en los organismos o en la naturaleza exista una tendencia o fuerza hacia el progreso. A pesar de que las extinciones son consecuencia casi inevitable de la selección natural, no puede hablarse de un mecanismo general sino de situaciones determinadas por ciertos ambientes y espacios frente a diferentes tipos de organismos.

La oposición a la idea de progreso en la evolución se apoya en el argumento de que la selección natural sólo puede actuar favoreciendo la supervivencia y la reproducción de organismos o especies en un cierto contexto y no a largo plazo, es decir, aunque la selección actúa oportunistamente, favoreciendo la mejora adaptativa no puede prever lo que ocurrirá en el futuro.

### IV.4 DOS TEMAS EVOLUTIVOS QUE SUELEN CAUSAR POLÉMICA EN CLASE

#### 1) La Selección natural

La selección natural ha sido comparada con un tamiz, que mantiene los genes útiles para ciertas circunstancias y que raramente aparecen, mientras que deja pasar a los mutantes dañinos que surgen con más frecuencia; pero la selección natural es mucho más que un proceso negativo, ya que es capaz de generar novedades, al incrementar la probabilidad de combinaciones genéticas que de otra manera serían improbables. En ese sentido la selección es creativa: no crea las entidades sobre las que opera, pero produce combinaciones genéticas adaptativas.

Este papel creativo de la selección no debe ser entendido como una creación en el sentido religioso, y su comprensión puede facilitarse usando la siguiente analogía: un pintor crea un cuadro mezclando y distribuyendo pigmentos sobre una tela. El lienzo y los pigmentos no son creados por el artista, pero el cuadro sí (Ruiz y Ayala, 1998). En una combinación al azar de pigmentos puede obtenerse como resultado final una obra de arte, pero la probabilidad de que una combinación al azar de pigmentos resulte en una obra como la Mona Lisa es infinitamente pequeña.

Sin embargo, la anterior analogía de la selección natural se rompe en un punto, ya que un pintor usualmente tiene una preconcepción de lo que quiere pintar y modificará conscientemente la pintura de manera que represente lo que él quiere, y la selección natural no tiene un proyecto ni opera de acuerdo a un plan preconcebido; por el contrario, es un proceso puramente natural que resulta de la interacción entre entidades físicoquímicas y biológicas. Cada paso de la selección natural es orientado hacia la mejora de la adecuación del organismo, pero la secuencia total no está preordenada ni tiene un fin preconcebido, cada uno de sus pasos puede cambiar de dirección en función de las diferentes presiones de selección.



La selección natural es siempre una consecuencia de la multiplicación diferencial de los seres vivos, y aunque tenga la apariencia de tener un propósito, está condicionada por las contingencias históricas del medio ambiente. El hecho de que los organismos se reproduzcan más eficazmente depende de qué variaciones presenten y de que éstas les sean útiles en el medio donde viven. Tampoco la selección natural prevé los ambientes del futuro, por lo que los cambios drásticos en el medio ambiente pueden llegar a ser insuperables para los organismos que antes prosperaban en un ambiente determinado.

La comprensión de la selección natural suele ser difícil para el alumno, y en ocasiones, para el mismo biólogo, en especial cuando se habla de que este proceso puede dar cuenta del origen de combinaciones genéticas y de tipos de organismos que nunca habrían existido bajo la acción descontrolada de la mutación al azar; pero que al mismo tiempo la selección natural no produce tipos predeterminados de organismos, sino únicamente organismos adaptados a sus ambientes actuales, de manera que las características seleccionadas dependerán de las variaciones que estén presentes en un tiempo y lugar dados. Esto a su vez depende del proceso azaroso que es la mutación, así como de la historia previa de los organismos, es decir, de su composición genética.

Es importante insistir en que Darwin sostuvo que el origen de las variaciones al azar no explica el carácter adaptativo de los organismos, y que la selección natural sobre los organismos sujetos a las mutaciones genéticas y a los retos ambientales explica a su vez las radiaciones adaptativas, los cambios y las extinciones, eventos que son incompatibles con un plan preordenado.

Debe mencionarse en clase que el azar es una parte importante del proceso evolutivo, pues las mutaciones que producen variaciones hereditarias sobre las que actúa la selección natural surgen al azar, independientemente de su calidad benéfica o perjudicial para sus portadores. Pero tal proceso azaroso es contrarrestado por la selección natural que conserva lo que es útil y elimina lo nocivo. De este modo, sin mutación no habría evolución, ya que no habría variaciones que se transmitieran diferencialmente entre generaciones. Pero sin selección natural, la mutación resultaría en un proceso desorganizado o de extinción, ya que la mayoría de las mutaciones son desventajosas.

## 2) La adaptación

Por último, hay que señalar la adaptación, uno de los términos más problemáticos y de mayor uso en relación con la enseñanza y la evaluación de la teoría de la evolución. Parte de la dificultad se debe a que su uso en el lenguaje cotidiano es muy diferente al que tiene en términos evolutivos. Cuando se escucha en la conversación común que un individuo se adapta, uno entiende que responde a las condiciones ambientales ya sea alterando su forma, función o conducta. Para el lego, adaptarse significa también acomodarse o ajustarse, o bien tiene el significado ecológico de aclimatación, es decir, el proceso durante el cual un individuo sufre adaptaciones morfológicas o fisiológicas ante uno o más elementos abióticos (Bougey, 1980). Dentro de la terminología evolutiva, cuando se dice que un organismo se adapta, se entiende que la composición de la población cambia en un periodo de varias generaciones; en estos términos, la adaptación es la modificación de la estructura, fisiología, desarrollo o conducta de un organismo que le hace más apto para seguir su forma de vida, por ejemplo para vivir en un cierto ambiente o alimentarse de ciertos alimentos; dichas alteraciones son producto de la selección natural que

opera sobre la variación natural dentro de las poblaciones. Ambas definiciones, la común y la evolutiva, son completamente diferentes, pero cuando escucha el término, el alumno construye significados en función de la primera definición, que le es más familiar.

#### IV.5 ELEMENTOS BÁSICOS QUE DEBERÍAN INCLUIRSE EN LOS PROGRAMAS PARA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN

Numerosos autores, entre ellos Engel y Wood, (1985) y Bishop y Anderson (1985) han mostrado la importancia de impartir por lo menos un contenido mínimo de la teoría evolutiva desde que se inicia la enseñanza de la biología en la secundaria. De aquí surge la necesidad de definir cuáles son los elementos básicos de la teoría de la evolución que deberían conocer los estudiantes de este nivel escolar, o bien qué características debe tener y qué puntos debe tocar un programa que aborde adecuadamente el tema.

Considero que la comprensión mínima básica de la evolución se logra cuando los estudiantes pueden explicar (en general con respecto a ejemplos específicos), cómo los procesos separados de la mutación y la selección natural trabajan en conjunto para cambiar la naturaleza de las poblaciones a través del tiempo. Enfatizo la idea anterior por varias razones. Primero, creo que ésta es absolutamente esencial para que les haga sentido la teoría de la evolución y segundo, la mayoría de los textos y cursos no lo tratan adecuadamente, de manera que los estudiantes se adentran en temas más avanzados y difíciles antes de que dominen esta idea fundamental.

- a) Los conceptos acerca de la teoría de la evolución que deberían manejar los estudiantes de secundaria.

Argumento general y lineamientos:

Esta propuesta de curso se debe introducir con la reflexión de por qué hay tantas clases de seres vivos, y que a Darwin se le ocurrió cómo explicarlo a través de un mecanismo que recibe el nombre de selección natural. La idea general es hablar de qué es una especie y cómo se forman las especies nuevas.

Darwin estableció su teoría de la evolución por selección natural mediante cuatro observaciones importantes acerca de las especies: el potencial de reproducción, los efectos del ambiente, la variación y la herencia. El temario debe presentar estas observaciones de una en una, utilizando una amplia variedad de ejemplos. Después debe mostrar cómo aquéllas se pueden relacionar entre sí para forjar la teoría de la selección natural, para después analizar el papel de ésta en la formación de especies nuevas.

Al referir los postulados básicos de la teoría de la evolución por selección natural, se analizan detalladamente y sobre el mayor número de ejercicios posibles los tres puntos problemáticos: la variación, su origen y el concepto de evolución. De estos tres puntos se parte también para mencionar los protoconceptos relacionados con genética (ver la primera parte de esta tesis), tema del que sólo se dirá lo necesario para la comprensión fundamental de la variación y la herencia.

Cuando se hable de Darwin se debe introducir la idea de la evolución que se tenía en su época y por qué razones la teoría de la evolución por selección natural causó revuelo. Es necesario tratar brevemente y con objetividad las ideas de Lamarck.

b) El temario para bachillerato

*Propuesta de argumento general y lineamientos:*

En el bachillerato común a todas las áreas (biológicas, humanísticas, etc.), es importante recalcar que los dos grandes temas que la biología evolutiva pretende explicar son: la diversidad biológica y la adaptación. Que la diversidad biológica (la coexistencia de diferentes entidades) se puede abordar desde distintos niveles de complejidad y que la adaptación (el ajuste fino de los organismos al ambiente) también ocurre a varios niveles.

En el bachillerato dirigido al área biológica se pueden discutir con mayor detalle los temas de la diversidad y la adaptación, desde el punto de vista de su origen y mantenimiento.

En este nivel educativo es también importante presentar brevemente la historia anterior a la idea de Darwin y al igual que en la secundaria, sugiero que respecto al temario vigente se reduzca el tema de las ideas predarwinistas y que sólo se les utilice para hacer algunos ejercicios.

En el tema I “la historia de una idea”, del temario propuesto, se hablará de Aristóteles, Linneo, Buffon y Lamarck. Este primer tema concluye con la presentación del clima intelectual en el que fue recibida la teoría de Darwin.

El segundo tema a tratar es la teoría de Darwin, en el que se incluyen la propuesta de la selección natural como mecanismo de la evolución; las evidencias para esta propuesta (el viaje del Beagle, los experimentos, etc.) y el contenido y las circunstancias de la publicación del *Origen de las Especies*. Al final se mencionará brevemente la nueva síntesis.

El tercer tema es el eje central de la presentación de la evolución en el bachillerato; en éste se hará especial hincapié en que los biólogos reconocen que dos fenómenos distintos, la selección y la mutación, influyen sobre las características que exhiben las poblaciones. Las nuevas características se originan por cambios al azar en el material genético (mutación y recombinación sexual) que luego persisten o desaparecen debido a la selección por factores ambientales (que afectan a la composición de la población como un todo). También se dirá que los biólogos entienden que la variación dentro de las poblaciones es un requisito para el cambio evolutivo. Las diferencias entre los individuos con respecto a las características genéticas, resultan en diferencias en éxito reproductivo debido a presiones de selección impuestas por el ambiente. Por último hay que recalcar, que los biólogos reconocen que los cambios en las características de los organismos surgen esporádicamente y al azar y que la progresión gradual en el cambio evolutivo tiene que ver con la propagación de ciertos caracteres en la población en el transcurso de muchas generaciones sucesivas.

*Nota: antes de abordar este tema habrá que averiguar qué tanto saben los estudiantes de genética y qué conceptos hay que repasar.*

El cuarto tema del temario propuesto, se refiere específicamente a la selección natural, a la adaptación (origen y mantenimiento); a la diversidad (origen, pérdida y ganancia), a la adecuación, y debe cerrarse con una definición de evolución.

El quinto tema tratará de las evidencias de la evolución. En el caso del bachillerato especializado para el área de biología se introducirá entre los temas tres y cuatro del temario sugerido, un tema más, referente al mantenimiento de la diversidad genética, en el que se hablará de la retención de los alelos recesivos, de la selección balanceadora, de la ventaja de los heterocigotos, y de la selección dependiente de la frecuencia. Si el nivel del grupo lo permite, se podrán mencionar también las fuentes no adaptativas de evolución, como la deriva génica, el principio del fundador, etc.

#### PROPUESTA DE TEMARIO PARA SECUNDARIA

1. El problema que Darwin resolvió
  - a) ¿Qué se pensaba de la evolución en tiempos de Darwin?
  - b) ¿Quién era Darwin? ¿Qué lo llevó a pensar en la evolución?
  - c) El papel de la analogía de la selección doméstica en la construcción de la teoría de Darwin.
2. Cómo reconocemos las especies
  - a) Cómo clasificar seres vivos.
  - b) Métodos para reconocer especies.
  - c) Todo ser vivo pertenece a una especie (ejemplos de plantas y animales).
  - d) El aspecto puede confundir.
  - e) Dentro de una especie hay seres diferentes.
  - f) Una especie no siempre tiene el mismo aspecto (variabilidad).
3. Las especies en el ambiente
  - a) Grupos de reproducción.
  - b) Barreras entre los grupos de reproducción.
  - c) Revisión del concepto de especie.
  - d) Una especie que parece ser dos y dos especies que parecen una sola.
  - e) Cómo reconocer a las especies cuando no hay indicios.
4. El tamaño de las poblaciones es constante.
  - a) Cálculo de número posible de descendientes en varias especie vs. Números reales.

5. ¿Cómo afecta el ambiente a la supervivencia?
  - a) El ambiente.
  - b) Los recursos son limitados.
  - c) La competencia.
  - d) Las muertes naturales.
  - e) ¿Qué significa “la lucha por la existencia”?
6. Las diferencias entre individuos.
7. Cuestión de herencia.
  - a) Introducción de los protoconceptos requeridos por el grupo.
  - b) Las instrucciones genéticas y su transmisión.
  - c) La herencia de la variación.
  - d) Mutación y variación.
8. La selección natural
  - a) La teoría de Darwin (Suficientes hijos, lucha por la supervivencia, la variación).
9. Los efectos de la selección natural
  - a) El ejemplo de *Biston betularia*.
  - b) Tipos de selección, selección sexual.
  - c) Los ejemplos de la anemia falciforme y el mimetismo.
10. La formación de especies nuevas
  - a) Etapas en la formación de especies nuevas: barreras en la reproducción, diferenciación, finales diferentes.
  - b) Barreras ecológicas, especies instantáneas.
11. El origen de las especies (pruebas de que la selección natural da lugar a la evolución de especies nuevas)
  - a) El ejemplo de los pinzones de las Galápagos.
  - b) Los peces del lago Victoria.

## PROPUESTA DE TEMARIO PARA BACHILLERATO

## I. La historia de una idea

- a) La escala natural de Aristóteles y la inmutabilidad de las especies.
- b) Las ideas de Linneo y su sistema de clasificación.
- c) Las ideas de Buffon .
- d) La idea de evolución de Lamarck.
- e) El ambiente intelectual en el que surge la teoría de Darwin.

## II. La teoría de Darwin

- a) Los experimentos de Darwin sobre el cultivo de plantas y la cría de animales. El viaje en el Beagle y la lectura de Malthus.
- b) La propuesta de la selección natural como el mecanismo de la evolución. Los postulados básicos de Darwin: la variación entre individuos, la herencia de la variación, la producción de más progenie de la que puede sobrevivir, la descendencia con las variaciones más adaptativas sobrevive y se reproduce mejor.
- c) La reunión de las evidencias: los experimentos de Darwin, la colonización de las islas y la dispersión de organismos.
- d) *El origen de las especies*. Breve explicación de su contenido y repercusión.
- e) La especiación: definición y mecanismos.
- f) La síntesis evolutiva: la imposibilidad de que Darwin explicara el origen de la variación genética y su mantenimiento en las poblaciones.

## III. Algunas formas en que la vida puede variar

- a) La variación incluye características conductuales, bioquímicas y físicas. La variación debe tener bases genéticas para ser significativa en la evolución.
- b) Fuentes de variación: mutación y recombinación genética.

Mantenimiento de la diversidad genética (para el área II de biología)

#### IV. La selección natural

- a) Definición de selección natural.
- b) Definición de evolución como el cambio de la frecuencia de alelos en el tiempo.
- c) La selección natural en poblaciones naturales. Ejemplos como *Biston betularia*.
- d) Adaptación (origen y mantenimiento).
- e) Diversidad (procesos que la generan, pérdida y ganancia).

#### V. Evidencias de la evolución

- a) El registro fósil.
- b) Biogeografía.
- c) Anatomía y bioquímica comparativas.

### IV.6 EL TEMA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN EN LOS PROGRAMAS ESCOLARES VIGENTES HASTA EL AÑO 2000

Si se revisan los programas educativos vigentes de la secundaria y del bachillerato aprobados en 1993 y 1997 respectivamente, en cuanto a los puntos que se refieren a la evolución puede notarse que, en los tres programas obligatorios que tratan el tema (el de primero de secundaria, el de la 4ª unidad de Biología III de la Escuela Nacional Preparatoria (ENP) y el de Biología III del sistema del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)), hay un objetivo común (según se especifica en los objetivos de los programas) que es explicar la diversidad biológica a partir de la evolución. En los tres programas se menciona la teoría de Darwin, pero mientras en la ENP se le trata muy brevemente, en la secundaria tiene un peso mucho mayor en el temario. En el CCH la teoría de Darwin se incluye como una de las explicaciones “que se dieron entre los siglos XVIII y XIX a la existencia de la biodiversidad (ver el programa en el Apéndice).

En los tres programas se habla de las ideas de Lamarck como antecedentes de la teoría darwiniana, y como me pude percatar, en muchas escuelas el tema de Lamarck se alarga tanto, que ya no deja lugar a la teoría darwiniana, de manera que es muy posible que los alumnos se lleven de la escuela la explicación lamarckiana de la evolución, que como ya se dijo, es la más compatible con sus concepciones alternativas.

En el caso de la ENP y del CCH, después de Darwin se habla de la síntesis moderna (en la ENP) y de la síntesis evolutiva en el CCH. En la secundaria se habla en cambio del neodarwinismo, lo cual en sentido estricto es incorrecto. Solamente en la ENP se habla de las evidencias de la evolución. En el CCH se mencionan la teoría del equilibrio puntuado, el neutralismo y la especiación, aun cuando se ha visto que son temas difíciles de comprender.

Hasta aquí puede notarse la gran diversidad de formas de abordar el tema y la disparidad de ideas que se consideran importantes en los currícula sobre evolución.

En el Colegio de Ciencias y Humanidades, el tema de la evolución se imparte obligatoriamente en la materia de Biología II (4º semestre), mientras que en Biología I (3er semestre) se tratan los mecanismos de la herencia en su tercera unidad, como antecedentes al tema de la evolución. En la secundaria en cambio, el tema de genética es posterior al de la evolución, por lo que es casi imposible que los alumnos entiendan los requisitos para que actúe la selección natural: las mutaciones y la recombinación sexual.

La Biología II del CCH, que es donde realmente se enseña evolución en su segunda unidad, es una materia obligatoria de 80 horas por semestre, de las cuales tan sólo se destinan 26 horas a la evolución, y de ellas, 8 horas a la teoría de Lamarck y 8 horas a la de Darwin. La unidad recibe el nombre de “¿Cómo se explica la evolución y diversidad de los seres vivos?” y sus contenidos temáticos son:

1. Explicaciones sobre la existencia de la diversidad biológica en los siglos XVIII y XIX (los trabajos de Lamarck y Darwin).
2. Explicaciones actuales sobre la diversidad biológica (la síntesis de Mayr, Dobshansky y Simpson, y el equilibrio puntuado, el neutralismo y la especiación).
3. La biodiversidad (donde se trata la “variación-adaptación”).

Cabe mencionar que Biología I y II son obligatorias, mientras que Biología III y IV son optativas pero recomendadas para los estudiantes que continuarán en áreas biológicas. Resulta curioso que en Biología II se traten temas tan complejos como el neutralismo, mientras que las bases de la teoría evolutiva se enseñan hasta Biología III, que es una materia optativa. Esto significa que en el CCH los estudiantes se enfrentan a la evolución con un temario muy complejo pero sin los debidos antecedentes.

En Biología III, que es optativa y que se imparte en el 5º semestre, los temas son:

1. La evolución como explicación de la biodiversidad
  - 1.1 La variabilidad genética como materia prima de la evolución
  - 1.2 Papel de la selección natural
  - 1.3 Deriva génica
  - 1.4 La adaptación y la extinción

Es claro que esta materia debería ser previa a Biología II y desde luego, obligatoria, pues según el programa oficial, el objetivo de Biología III es explicar la biodiversidad como resultado del proceso evolutivo; trata también los mecanismos de especiación y la evolución paralela, la coevolución, la evolución convergente y la divergente. Después de Biología III ya no se vuelve a ver el tema de la evolución en la biología del sistema CCH.



En el programa vigente de la Escuela Nacional Preparatoria, la materia Biología III, que se cursa en quinto año como materia obligatoria, es el núcleo básico de la biología en este nivel con el que se pretende que los estudiantes adquieran los principales temas biológicos y una cultura general al respecto. La cuarta unidad (que tiene una duración de 15 horas) se refiere a la evolución de los seres vivos, después de que en la tercera unidad se han estudiado los procesos reproductivos y hereditarios. Esta cuarta unidad pretende analizar la teoría evolutiva, los mecanismos evolutivos y sus evidencias; mientras que en la quinta unidad se aborda la historia evolutiva de la diversidad biológica. La teoría de Darwin se trata brevemente como un subtema de esta unidad y los temas básicos para comprenderla, como ya se dijo, no se consideran en este temario. En el caso de la preparatoria, es mucho menor la importancia que la evolución recibe que en el CCH, ya que se le destinan menos horas en extensión.

En la Biología IV, de sexto año, ya no se trata el tema de la evolución, es decir, en preparatoria, la evolución tan sólo se aborda en uno de los dos cursos de biología que este sistema educativo contempla. Por otro lado, el temario indica en su descripción de contenidos, que la explicación de la evolución "aún está en discusión".

Los párrafos anteriores muestran que la elaboración de los programas de biología del nivel medio superior en ningún momento contempla la realidad cognitiva del estudiante mexicano, que el darwinismo se mira como una más de las explicaciones de la evolución, que sólo se considera la relación entre la evolución y la diversidad, pero no con la adaptación y que hay una confusión entre variación y diversidad.

Si además se toman en cuenta las razones que hasta aquí se han esgrimido para enseñar adecuadamente la teoría de la evolución por selección natural, la justificación de una cierta secuencia temática y la consideración de conceptos antecedentes, es claro que en el nivel medio superior en nuestro país se requiere de una reestructuración profunda y realista de los programas de biología en general y de la enseñanza de la teoría evolutiva en particular.

En el Apéndice de esta tesis se pueden consultar con detalle los programas sobre evolución de las escuelas mencionadas.

## V. ESTRATEGIAS DIDACTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORIA DE LA EVOLUCION

Como ya señalé, las explicaciones alternativas que tienen los estudiantes respecto a los fenómenos naturales hace que el aprendizaje de la ciencia sea un proceso complicado, pues implica que el alumno abandone conceptos aprendidos significativamente, erróneos o correctos, a favor de ideas nuevas o poco familiares. Los viejos hábitos de pensamiento pueden ser sorprendentemente resistentes al cambio a pesar de la instrucción, por lo que llegan a persistir aun después de que los estudiantes han conocido las alternativas científicas (Demastes et al, 1995). De manera que en el ámbito académico, al no comprender los conceptos científicos, los alumnos simplemente repiten lo que de ellos se espera oír, mientras que en las situaciones no escolares regresan a sus ideas originales (Demastes et al, 1995).

Si se considera que la teoría de la evolución es necesaria para comprender otras ideas importantes en la biología como la especiación, los sistemas de clasificación, el flujo genético, la deriva génica, etc., entonces su desconocimiento repercute en el manejo del curriculum básico de biología. Es por eso que los maestros de esta materia en los niveles preuniversitarios deben tener claro que la comprensión mínima de la teoría de la evolución se alcanza (como se detalló en el capítulo IV), cuando los estudiantes son capaces de explicar las mutaciones al azar y la selección natural como procesos separados, pero actuando en conjunto, de manera que a través del tiempo afecten las características y la naturaleza de las poblaciones. Sin embargo, la mayoría de los textos y programas escolares no tratan estos conceptos adecuadamente, lo que lleva a que los estudiantes se enfrenten a conceptos más avanzados de biología evolutiva sin haber dominado el tema de la selección natural (Scharmann 1993).

La enseñanza de la evolución en los niveles preuniversitarios resulta una tarea difícil, pues el problema no reside solamente en la comprensión de la teoría de la evolución en sí, sino también proviene, como ya se ha dicho, de las concepciones alternativas que el estudiante tiene respecto a la naturaleza de la ciencia y de las teorías científicas (Duschl y Gitomer, 1991).

Lo anterior sugiere que la metodología de enseñanza de la teoría de la evolución debería revisar las ideas sobre la ciencia que tienen los alumnos y permitir que después de la instrucción pudiera evaluarse la estabilidad de los nuevos esquemas conceptuales de los alumnos, sobre todo en el caso de temas difíciles como la teoría de la evolución, ya que a veces en el ámbito escolar, aunque pareciera que el alumno ha logrado la comprensión, es muy probable que fuera de éste retome las concepciones alternativas (Scharmann 1993).

### V.1 EL MAESTRO FRENTE A LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LOS ALUMNOS

Hace tiempo, los especialistas en didáctica caracterizaban las representaciones de los alumnos como un distanciamiento entre el pensamiento del sujeto y el del científico. Hoy en día se considera que las concepciones alternativas intervienen en la identificación de una situación y se miran como herramientas de que dispone el sujeto para aprehender la realidad (Giordan 1997), por lo que dichas concepciones son consideradas como un decodificador que permite al sujeto comprender el medio que le rodea. Es por eso que ocupan un sitio importante en la enseñanza,

pues a partir de ellas se pueden abordar nuevos temas, interpretar situaciones, resolver problemas, dar explicaciones y hacer previsiones: mediante ellas el sujeto selecciona informaciones y les da significado. Si todo esto ocurre cuando el estudiante está expuesto al conocimiento científico, puede lograrse que su concepción y aquella propuesta por la ciencia se lleguen a aproximar. Sin embargo, tradicionalmente los profesores no se preocupan por los marcos de referencia del alumno, y se pierde esa posibilidad de acercar la idea alternativa y la científica.

Por otro lado, el alumno no pone en duda sus propias representaciones porque le son coherentes, ya que tienen para él un valor significativo en función de sus modelos de pensamiento. Además, como dichas representaciones escapan a la confrontación con la realidad o con las representaciones de otros, estos esquemas mentales son muy difíciles de cambiar o de ser desplazados simplemente enfrentándose a las explicaciones externas provenientes de la lógica del maestro.

A pesar de la gran cantidad de información acumulada en los últimos años, las investigaciones sobre las concepciones alternativas requieren todavía de una reflexión, pues salvo excepciones, son escasos los estudios sobre la formación, interpretación o explicación de estas concepciones, lo que parece revelar la ausencia de un marco teórico en esta área, que se traduce en trabajos casi exclusivamente empíricos.

En dichos trabajos, los investigadores usan los contenidos de la ciencia como puntos de referencia. Sin embargo, como el conocimiento del alumno es diferente al del científico, desde el punto de vista de contenidos, metodología y estructura lógica, suele haber una tendencia a considerar a las concepciones de los alumnos como si fueran erróneas, cuando en muchos casos tan sólo son diferentes, lo que lleva a conclusiones falsas respecto a la bondad de algunos métodos para abordar, modificar y evaluar el conocimiento de los alumnos.

Ahora bien, si se toma en cuenta que la investigación sobre concepciones alternativas se lleva a cabo para diseñar procesos de enseñanza que garanticen una mejor integración del contenido científico en la estructura cognitiva del alumno, se puede uno preguntar si es suficiente con una delimitación descriptiva de las concepciones alternativas o bien si éstas deben confrontarse con otras representaciones y analizarse a fondo, sobre todo, en el caso de la evolución biológica resulta notable que sean tan persistentes las ideas ingenuas o alternativas.

Los resultados que arrojan los estudios sobre cómo abordar pedagógicamente las concepciones alternativas indican que éstas deben ser tomadas en cuenta desde la preparación de las clases, y ser confrontadas en el aula con las representaciones científicas (Hausiein *et al*, 1992). De esta manera, las propias concepciones estudiantiles pueden servir de reguladores e indicadores de cómo realizar la práctica educativa, lo que lleva al planteamiento de una nueva pedagogía que presente características diversas según las circunstancias, dado que las concepciones previas de los estudiantes son elementos de diagnóstico que nos permiten saber qué conoce el alumno para poder actuar en consecuencia. En este sentido, los trabajos sobre el manejo de los conceptos alternativos de los alumnos transforman la enseñanza, pues ahora se da un lugar central al que aprende, ya que éste forma su propio conocimiento, que puede acercarse al científico, siempre y cuando se le ayude a hacerlo.

Hay que considerar también que el maestro que enseña evolución no sólo se enfrenta a las ideas previas de los alumnos, sino también a las creencias pseudocientíficas de la población en general. Estas creencias ocurren aun entre las personas con cierta preparación (Eve y Dunn, 1990), lo que demuestra que los sistemas educativos no han sido efectivos para proporcionar herramientas en contra de la pseudociencia.

Así, la enseñanza de la evolución se convierte en un problema todavía mayor si los estudiantes la perciben como un conflicto con sus creencias. De aquí que los maestros de biología no solamente debieran buscar que los estudiantes comprendan la evolución, sino también la naturaleza de la ciencia y el poder explicativo de sus teorías. Hay estudios que muestran que una vez que los alumnos comprenden la evolución, no necesariamente la aceptan (Scharmann, 1993), por lo que no deben ignorarse los problemas de aceptación de este tipo de temas conflictivos, sino saber encauzarlos de manera que se logre el cambio conceptual.

Aun con toda esta problemática, trabajos como el de Demastes *et al* (1995) muestran que a medida que se repite la enseñanza, los alumnos tienden a usar con más frecuencia la concepción científica de la evolución que la alternativa. Esto ha llevado a investigar con más detalle la posibilidad de lograr el cambio conceptual en el tema, a partir de la propuesta de enfrentar a los estudiantes a sus propias concepciones alternativas.

## V. 2 ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS PARA LA ENSEÑANZA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

Deadman y Kelly (1978) y Engel y Wood (1985), entre otros, han recomendado que en lugar de postergar, debido a su complejidad, la enseñanza de la evolución hasta el bachillerato, como había sido planteado a principios de los años 70, lo que debería hacerse es implementar estrategias para mejorar su enseñanza desde niveles educativos inferiores.

Para lograr esta meta, son dos los aspectos básicos a considerar, uno es el diseño del temario, donde como ya se discutió en el capítulo anterior, lo importante es la elección de los conceptos más adecuados, y el otro, la búsqueda de estrategias de enseñanza, es decir, la selección de las formas de enseñar y propiciar un ambiente de instrucción significativa.

Antes de pasar a discutir las estrategias didácticas alternativas para la enseñanza de la evolución en cada nivel educativo, quisiera mencionar los aspectos generales en los que éstas deberían estar inscritas, aspectos que han generado cambios radicales en la enseñanza del tema, y que incluyen el enfoque histórico de la enseñanza de la evolución, la discusión en el aula sobre la naturaleza de la ciencia, la consideración de las ideas previas de los estudiantes, los modelos de cambio conceptual y la teoría del constructivismo.

Está ampliamente documentado que el público y los estudiantes perciben al mundo viviente con una visión predarwiniana, de donde se ha pretendido desarrollar nuevas estrategias que intentan probar que la enseñanza del desarrollo histórico del pensamiento evolutivo, haría que los alumnos se dieran cuenta de cómo se fueron modificando conceptos similares a los suyos (Guillén, 1997). Los pobres resultados de aprendizaje que muestra esta manera histórica de enfocar la enseñanza, indican que ésta debería de seguir otros caminos, como por ejemplo mostrar

en el salón de clases las ideas respecto al mundo viviente que tenían, tanto el público como los científicos de la Inglaterra de mediados del siglo XIX, cuando se enfrentaron a la teoría de Darwin, y enfatizar por qué hubo tanta resistencia a aceptarla, ya que el sólo relatar cómo pensaban los científicos predarwinistas, lejos de provocar un conflicto conceptual, hace que los estudiantes se identifiquen con tales ideas. Por el lado de la investigación educativa habría que dilucidar la persistencia histórica de maneras de pensar semejantes entre los alumnos y la comunidad predarwiniana, como el esencialismo y la teleología.

Otro de los beneficios que podemos obtener del análisis de la recepción de la teoría de la evolución por selección natural por parte de la comunidad científica del siglo XIX, es ayudar a que maestros y alumnos revisen su manera de ver la ciencia, que en el ámbito escolar suele estar inscrita dentro del mito del método científico y con una tendencia a unir ciencia con experimento, lo que a la larga se convierte en una barrera para una efectiva enseñanza de la evolución (Smith, 1993); esto implica que los maestros tengan una comprensión amplia de qué es la ciencia, qué se entiende por conocimiento científico y cómo se genera y evoluciona (Zuzovsky, 1994), de manera que con ello, los alumnos adquieran una visión más realista de la ciencia (Smith, 1993). Este tema se abordó con detalle en el inciso 1 del capítulo IV).

Otra de las estrategias generales consiste en tomar en cuenta las ideas previas de los estudiantes, a menudo fragmentarias, y ayudarles a cuestionarlas con base en argumentos históricos sólidos (Jensen y Finley, 1996). Este enfoque es consistente con la teoría del cambio conceptual (que se describe en el capítulo III), el cual requiere que los estudiantes hagan explícito su pensamiento inicial y lo comparen con nuevas evidencias que les parezcan plausibles y comprensibles, para que posteriormente se involucren en experiencias teóricas o prácticas, que les indiquen que las nuevas ideas pueden ser aplicadas para resolver problemas (Posner et al., 1982; Duschl y Gitomer, 1991; Scharmann, 1993).

En este sentido, es indispensable que ante todo los estudiantes ubiquen el o los problemas que sí se resuelven con sus concepciones alternativas. Sobre todo si como ya se mencionó, los dos grandes temas que la biología evolutiva pretende explicar son la diversidad biológica y la adaptación, que como se verá a continuación, no pueden ser comprendidos con las concepciones alternativas más comunes de los estudiantes.

Como se describió en los incisos II.2, II.3 y II.4 de esta tesis y en la Fig. 1, los alumnos creen que un solo proceso (no la mutación y la recombinación sexual por separado), al que erróneamente llaman “selección natural o adaptación”, afecta las características de los organismos; esto les lleva a una segunda concepción alternativa que consiste en pensar que el medio actúa directamente sobre los organismos, alterando sus características, que pueden ser heredadas a su descendencia. Se considera que la forma en que el medio afecta a los organismos es actuando sobre los genes, y el resultado de esto es otra idea alternativa de que el efecto del ambiente sobre los genes trae como consecuencia una evolución progresiva en que los genes “mejoran”, o se “adaptan al medio”, lo que a la vez impide comprender conceptos como la extinción, la adaptación, la variabilidad, la selección natural y los efectos de la mutación y la recombinación sexual.

Otra concepción alternativa, derivada de la anterior, es que el medio afecta los caracteres por una "necesidad" o para un "propósito" dado por el medio y, a su vez, esa "necesidad" o "propósito" modifica los caracteres por uso y desuso.

En cambio, la explicación científica permite comprender la adaptación, la diversidad y la extinción, pero a la vez lleva a discusiones sobre la dirección de la evolución, el gradualismo, el carácter probabilístico de la selección natural, etc., que se discuten más ampliamente en el capítulo IV de esta tesis.

Finalmente, considero que para enseñar adecuadamente la teoría evolutiva no se requiere contar con una estrategia particular para un nivel educativo en especial, sino que más bien es cuestión de partir de un marco educativo general y de un contenido conceptual mínimo, de donde se irán tomando estrategias complementarias o específicas según el nivel académico en el que se pretenda incidir, y de acuerdo a las características del grupo con el que se trabaje. En este sentido, lo primero que se requiere es situarse dentro de una teoría epistemológica general, como el constructivismo, que entre otras cosas postula que el estudiante construye nuevos significados a partir de una estructura conceptual previa y que en esa construcción influyen los conceptos que constituyen una disciplina, mismos que a su vez, deben intervenir en la planeación de la propia enseñanza (Novak y Gowin, 1984).

La propuesta didáctica que a continuación se describe se compone de varias estrategias que comprenden tres tipos de actividades: de exploración, de reestructuración y de aplicación de las nuevas ideas, distribuidas en seis puntos. De acuerdo a las investigaciones sobre cambio conceptual, la propuesta contempla el aprendizaje como reconstrucción de conocimientos y propone que los aspectos metodológicos deben estar estrechamente relacionados con los contenidos conceptuales, ya que sin una metodología coherente con el enfoque general antes expuesto, las estrategias didácticas resultarían ineficaces.

#### 1. Basarse en los datos de las investigaciones

Para iniciar la enseñanza sobre la teoría de la evolución, los maestros deben tener una visión clara de las ideas con las que los alumnos se enfrentan al tema por primera vez. Es necesario que consideren que los estudiantes de manera general no comprenden qué es un cromosoma ni un gen, ni dónde se localizan, tampoco cuál es su función; creen que en los animales existe un deseo de mejorar o una "necesidad" de hacerlo y que los caracteres adquiridos pueden ser heredables; no manejan el concepto de variabilidad, creen que la evolución ocurre a lo largo de la vida de un individuo, interpretan la adaptación en su acepción cotidiana de aclimatación o como un elemento positivo que ayuda a los animales a sobrevivir, o bien, los estudiantes de secundaria y algunos de preparatoria, piensan que en las plantas no ocurren los procesos biológicos, y mucho menos la evolución.

Una tendencia común es que los alumnos no diferencian entre el origen aleatorio de la variabilidad y la selección no aleatoria de los organismos más aptos; para muchos estudiantes, incluso de niveles superiores, son procesos similares o simultáneos. Igualmente creen que el uso y desuso de un órgano provoca cambios heredables, no saben por qué y cómo ocurre la evolución, y cuando la explican, dan argumentaciones teleológicas y antropomórficas. Las ideas anteriores han sido descritas con todo detalle en el capítulo II de esta tesis.

## 2. Proponer estrategias para la exploración y discusión de las ideas de los alumnos

Este punto contempla planificar actividades que ayuden a indagar las ideas previas de los estudiantes. Por parte del docente, para que reconozca, emplee y pueda registrar los resultados de las investigaciones antes mencionadas, de manera que cuente con un diagnóstico de la calidad y cantidad de conocimientos del grupo. En cuanto a los alumnos, para hacer que formulen explícitamente sus ideas, que las discutan entre sí y con el profesor, y que anoten los argumentos en los que basan sus concepciones, para después compararlas. Este paso es particularmente importante para que el estudiante se percate de que sus ideas constituyen una explicación diferente a la científica, pero que es mantenida y en ocasiones hasta apoyada por la "ciencia escolar". Se trata de un paso en la toma de conciencia de los modelos evolutivos escolares o personales y sus implicaciones. Para llevarlo a la práctica, es de gran utilidad la utilización de mapas conceptuales, que además pueden emplearse como instrumento para impartir el tema de la teoría de la evolución, o bien, para plantear los conocimientos mínimos sobre una materia (Novak y Gowin, 1984).

Con respecto al desarrollo de estrategias de exploración de conocimientos, hay que hacer mención de uno de los trabajos que han sido pioneros en la aplicación de esta metodología en el aula y especialmente en la enseñanza de la evolución. Se trata de un "módulo de enseñanza" que Bishop y Anderson escribieron en 1985, donde presentan una prueba diagnóstica que sirve como pre y postprueba para revelar las concepciones alternativas de los estudiantes, ayuda a interpretar respuestas, explora distintas formas de dar la clase sobre evolución y propone actividades de laboratorio y problemas sobre variación y caracteres adaptativos. Es un material que ayuda a vencer las fuertes barreras al aprendizaje del tema, ya que diagnostica las deficiencias del estudiante, da ideas de cómo crear insatisfacción con las ideas erróneas previas (según el modelo de Posner et al. 1982, de cambio conceptual) y permite la aplicación y la práctica de los nuevos conceptos.

Como parte de esta segunda estrategia, también hay que considerar a Scharmann (1993), quien dice que para primero reconocer las ideas previas y luego buscar el cambio conceptual, hay que propiciar la interacción estudiante-estudiante y darles la oportunidad para expresarse de manera reflexiva. Al respecto, una de las estrategias más interesantes ha sido propuesta por Duschl y Gitomer en 1991, en un artículo en el que además de hacer un detallado análisis del modelo de Posner proponen, con base en las ideas de Kuhn y Lakatos, la manera en que se puede ayudar a reestructurar el pensamiento científico de los estudiantes. Esta estrategia consiste en desarrollar lo que Duschl y Gitomer llaman la "cultura del portafolio", que es una estrategia didáctica con la que se propicia que los estudiantes y maestros confronten y desarrollen su comprensión científica. Con ella, los estudiantes asumen la responsabilidad de su propia reestructuración y de autoevaluarse. Esta metodología también les permite evaluar y detectar el aprendizaje significativo, la orientación de su proyecto y las actividades instruccionales que han recibido. La dinámica que se sigue es trabajar algunas alternativas de solución a un problema propuesto, luego dar explicaciones y argumentos de cómo lo solucionarían y finalmente, establecer y hacer efectivos sus propios criterios de evaluación.

### 3. Desarrollar actividades para provocar el conflicto conceptual o la insatisfacción con los conceptos previos

El objetivo de estas actividades es hacer que los estudiantes pongan en duda sus interpretaciones de la evolución, que a menudo son lamarckistas. Una forma de hacerlo es dar a conocer, frente a toda la clase, las respuestas más comunes y sus argumentaciones ante un problema propuesto, o bien, el maestro puede plantear situaciones que las interpretaciones de los estudiantes no resuelvan. En resumen, con esta actividad se pretende promover la insatisfacción con los conocimientos previos, tal como lo proponen Posner *et al.* (1982). (Para una discusión más extensa de esta metodología, se puede consultar el capítulo III de esta tesis).

En este tercer punto es importante escoger los ejemplos más adecuados, como pueden ser los experimentos de Weismann (Jensen y Finley, 1995), el conocido ejemplo de la evolución de la polilla salpimentada (propuesto con un enfoque que promueva el conflicto conceptual), problemas relacionados con temas de interés como por ejemplo la evolución humana (Jiménez, 1991), o bien ejercicios diseñados exprofeso como por ejemplo, aquél propuesto por Peczkis (1993), en donde se aborda la concepción errónea de que la evolución tiene un fin predeterminado en el sentido del "progreso".

### 4. Buscar la coherencia de las nuevas explicaciones

La insatisfacción con la idea previa es una condición necesaria pero no suficiente para abandonarla; por ello, los alumnos deben disponer de una mejor alternativa para explicar las situaciones a las que la antigua concepción no daba respuesta. Por lo tanto, habrá que hacer explícito para el alumno cuáles son los problemas a los que su concepción previa no da respuesta. Esta nueva explicación debe ser plausible, es decir, razonable o coherente con la concepción del mundo que tiene el sujeto.

Para poder llevar a cabo esta estrategia, Scharmann (1993) propone hacer lecturas (individuales o grupales) sobre historia natural o bien utilizar algunos materiales comerciales preparados para el caso. En los trabajos de divulgación de S.J.Gould, (*El pulgar del panda, La sonrisa del Flamenco, etc.*) o de R.Dawkins (*El relojero ciego, El fenotipo extendido, etc.*) se pueden encontrar ejemplos, relatos y analogías que expliquen claramente las nuevas ideas.

En mi opinión, el aprendizaje así efectuado puede ser significativo e incluso activo, dado que los estudiantes deben rehacer sus propios significados a partir de esas lecturas o presentaciones. Otra forma de hacerlo es a través de la explicación dada por el maestro, siempre que cumpla con las recomendaciones de Ausubel (1995), de que el nuevo material se presente relacionándolo explícitamente con las ideas de los estudiantes y que tenga una organización adecuada. Esta cuarta estrategia depende mucho de la capacidad que el maestro tenga para explicar el tema de la evolución por selección natural.

La razón por la que propongo que la introducción del tema en secundaria se haga de esta forma, es que los estudiantes de este nivel todavía no son capaces de entender el tema de la selección natural en ciertas lecturas, y por otra, porque también es importante que los maestros entiendan que es necesaria una combinación de estrategias que permitan hacer frente tanto a los variados problemas que implica la enseñanza de la teoría de la evolución como a los estilos de aprendizaje.



Para buscar la coherencia con las nuevas explicaciones, hay quienes proponen estrategias de investigación dirigida, especialmente en el nivel profesional, cuando la explicación básica ha sido comprendida (Duschl y Gitomer, 1991). Respecto a esta estrategia, y en palabras de Lawson y Thompson (1988), no sólo tenemos que enseñar las concepciones científicas, sino “desenseñar” (unteach) las no científicas. Finalmente, para que esta reestructuración activa del conocimiento tenga lugar, los estudiantes deben involucrarse en la aplicación de las nuevas ideas.

5. Llevar a cabo actividades de aplicación de las nuevas ideas a distintos contextos y a la resolución de diferentes problemas

Puesto que con estas alternativas didácticas pretendemos una reconstrucción de los conocimientos de los estudiantes, debemos lograr que manejen los nuevos modelos e ideas y que los utilicen en situaciones variadas y sobre ejemplos diferentes a los mostrados en clase. Se trata de promover un aprendizaje procedimental (de transferencia) en el que los conocimientos puedan ser aplicados en contextos distintos, lo que puede ser favorecido si se practica el reconocimiento de pautas similares que existen entre diferentes fenómenos, aunque evitando la repetición mecánica.

Así por ejemplo, en las actividades que se propongan o ante la descripción de los casos a examinar, se plantean preguntas, incluyendo aquellas sobre las hipótesis que llevaron a idear un experimento o bien se solicita a los estudiantes diseñar experiencias complementarias; también pueden practicarse las nuevas ideas con ejercicios de simulación.

Scharmann (1993) y Jensen y Finley (1996) sugieren que para reafirmar las condiciones requeridas para el cambio conceptual, se resuelvan problemas aplicando diversas teorías evolutivas. En esta estrategia instruccional se requiere que los estudiantes resuelvan un problema puesto por el instructor, y después negocien una solución común al problema, ya sea con otro estudiante, o en grupo, acción que además de permitir la interacción entre estudiantes, promueve también que se involucren activamente en el aprendizaje de la evolución.

Es importante recurrir a estas situaciones, simulaciones y ejercicios, dada la dificultad de hacer experimentos en el tema de la evolución. Por otro lado, las actividades de este tipo favorecen la reconstrucción de los conocimientos y la apropiación de nuevas ideas que muestran un poder explicativo superior a las antiguas. La literatura sobre enseñanza de la evolución es pródiga en sugerencias de esta índole; por ejemplo, Barberá y Sanjosé (1993) presentan una actividad sobre un modelo que puede ayudar a comprender la polémica sobre el gradualismo y el saltacionismo. Fifiield y Fall (1992), para evitar la pasividad frente a las simulaciones por computadora, incluyen en su programa la posibilidad de interactuar con aspectos como la selección sexual y la herencia mendeliana, y hacer una simulación de la selección natural. En este ejercicio el estudiante puede “observar” la evolución de un organismo imaginario, con el que puede estudiar los efectos de la depredación sobre las frecuencias de alelos, examinar la ley de Hardy Weinberg o considerar si la necesidad de sobrevivir es una fuerza que guía la evolución.

Knapp y Thompson (1992) hacen un ejercicio sobre biogeografía en el que unen la idea de probabilidad con los conceptos de evolución. La idea de selección natural se presenta de manera simple y divertida, y pueden usarse una gran variedad de escenarios para ilustrar los efectos de la presión evolutiva.

McComas (1991) por su parte hace una revisión exhaustiva de actividades de laboratorio sobre la evolución que pueden llevarse a cabo desde el bachillerato.

6. Proponer entre los estudiantes una comparación explícita entre las ideas antiguas y las nuevas

Puesto que se considera que una de las razones por las que a los estudiantes les cuesta tanto trabajo cambiar sus ideas originales con respecto a la evolución, es que no perciben las ideas lamarckistas y las darwinistas como dos modelos incompatibles, las actividades de comparación resultan apropiadas para insistir en las diferencias entre ambas. Dichas actividades son también el pretexto para analizar algunos aspectos históricos que se mencionaron con anterioridad en este trabajo. También es importante darles a comparar las respuestas que daban al comienzo de la instrucción con las posteriores, así como pedirles que interpreten una situación o resuelvan un problema según cada modelo.

Respecto a este punto, también cuentan los maestros con materiales de apoyo; por ejemplo, Duveen y Solomon (1994) proponen una obra de teatro sobre el debate acerca de la publicación del *Origen de las especies*, en la que se utilizan personajes históricos para mostrar las ideas más comunes de la época. Esta obra muestra la importancia de aprender historia y de conocer la naturaleza de la ciencia y se ha representado con éxito en Inglaterra con estudiantes de 15 y 16 años.

Considero que los seis puntos antes expuestos apoyan el aprendizaje significativo de la teoría de la evolución en cualquier nivel educativo; simplemente habrá que intensificar aquellas estrategias que requieran más apoyo en cada nivel. Así, en secundaria, Guillén (1997) ha sugerido a los maestros diseñar problemas que planteen los mecanismos de cambio y conceptualizar el proceso a través de herramientas metodológicas, como los mapas conceptuales, que permiten al alumno reconocer las conexiones entre los diversos tópicos del conocimiento sobre la evolución.

En bachillerato hay que intensificar la aplicación de las nuevas ideas a ejemplos cotidianos, ya que los alumnos de este nivel suelen carecer de interés en el tema por considerarlo ajeno a su vida, y hacer una fuerte labor para eliminar concepciones erróneas adquiridas en su paso por la secundaria; y en el caso de los estudiantes de la carrera de biología, es quizá más importante que dediquen más tiempo a la aplicación de la teoría evolutiva para resolver problemas nuevos. Sorprende encontrar que para ese nivel, aunque se esperaría un mejor manejo de la teoría evolutiva, las estrategias antes mencionadas no sólo son útiles sino también necesarias.

La mayoría de las técnicas aquí discutidas han sido planteadas en numerosos artículos y las he aplicado en una propuesta de enseñanza que cito con detalle en el apéndice de esta tesis. En mi trabajo de campo he probado que los resultados óptimos de aprendizaje se obtienen cuando se parte de mostrar a los alumnos tanto el por qué de la dificultad de aceptar la teoría darwiniana en la Inglaterra de mediados del siglo pasado, como las ideas básicas sobre cambio conceptual, especialmente en lo que se refiere a que los estudiantes pongan en duda sus ideas previas.

Estoy consciente de que la factibilidad de las estrategias aquí mostradas implican fuertes cambios escolares, que no sólo incidirían en los alumnos, sino también en la currícula y en la preparación del magisterio, por lo menos en lo que a la biología respecta.

## VI. EL APOYO DE LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL

En el capítulo III se describió detalladamente el modelo de Posner *et al* (1982) y se señaló que la metodología de enseñanza que se propone en la segunda parte de esta tesis está apoyada en las condiciones que dicho modelo establece para alcanzar el cambio conceptual. La primera de estas condiciones es que el maestro consiga que la nueva concepción (científica) llegue a ser inteligible para el estudiante. Para lograr la inteligibilidad o la comprensión cabal de un concepto, varios autores (Treagust *et al* 1996; Thorley y Sttoflett, 1996; Tyson *et al*, 1997) han sugerido el uso de analogías, que además son una ayuda en la enseñanza, ya que facilitan la comprensión de temas complejos que por su naturaleza difícilmente pueden ser explicados mediante experimentos y demostraciones, como es el caso de la teoría de la evolución por selección natural.

Por tanto, la intención de este capítulo es explorar el papel que tienen las analogías para facilitar la enseñanza de la biología y en particular de la teoría evolutiva.

El diccionario define la analogía como “la similaridad que existe entre dos cosas”. Tal similaridad es importante en la enseñanza de las ciencias pues la adquisición de conceptos y el desarrollo de habilidades de pensamiento tienen que ver con el establecimiento de similitudes entre conceptos (Lawson, 1993).

Cuando se enseña biología, hay que tratar con dos tipos de conceptos: unos, como la variación fenotípica, la fosilización, el crecimiento o el mimetismo, son conceptos descriptivos porque de ellos existen ejemplos perceptibles; de manera que cuando los estudiantes tienen que entenderlos, basta con que se les señalen algunos ejemplos. Y otros conceptos, llamados teóricos, de los que no hay ejemplos perceptibles, como los conceptos de gen, selección natural o evolución, cuyo significado no puede derivarse de la percepción de objetos, eventos o situaciones; es decir, su significado proviene de una “recreación” del científico (Lawson, 1993).

Dada la dificultad de contar con ejemplos perceptibles para explicar conceptos teóricos, es de esperar que su enseñanza sea particularmente difícil, a menos que el maestro haga uso de analogías y con ellas traduzca los conceptos teóricos en conceptos reales ampliamente conocidos por el estudiante. Por ejemplo, los alumnos no pueden experimentar directamente la naturaleza de la mutación, pero sí conocen el resultado que se obtiene al seguir una receta de cocina alterada en alguno de sus ingredientes. Esta analogía puede dar una primera visión del proceso de mutación.

Por lo anterior, considero que una línea importante en la investigación en educación de la ciencia es la búsqueda de analogías adecuadas para la enseñanza de conceptos teóricos y la evaluación de su efectividad en el aprendizaje. Cabe aclarar que en este trabajo se utilizaron, además de las analogías, los ejemplos, similitudes, diagramas, experimentos, simulaciones o actividades asistidas por computadoras, en la enseñanza de la teoría de la evolución.

En la búsqueda de las analogías más adecuadas para la enseñanza de un cierto tema, es necesario entender el papel que éstas juegan en el desarrollo de habilidades de pensamiento científico, que es una de las metas de la enseñanza de la ciencia y que consiste en elaborar explicaciones satisfactorias acerca de los fenómenos naturales; para lograrlo, los científicos tienen

que generar primero explicaciones diversas para un fenómeno en particular, que a menudo involucran entidades teóricas no perceptibles. Una vez que se han generado tales explicaciones, éstas deben ser evaluadas y para ello se diseñan pruebas que buscan descubrir cuáles de las alternativas hipotéticas o de las entidades teóricas deben ser rechazadas o aceptadas de acuerdo a lo observado.

Lawson (1993) considera que las explicaciones teóricas de los científicos son generadas haciendo analogías con los objetos observables, o con eventos o situaciones tomadas de experiencias previas. Por ejemplo, Darwin hizo uso de su experiencia previa con la selección artificial para “inventar” la idea de la selección natural. Darwin razonó que si la selección artificial ocurría en las poblaciones domésticas, tal vez un proceso análogo tenía lugar en las poblaciones naturales, (aunque hoy se considera como evidencia de la evolución a los resultados de la selección artificial en condiciones experimentales).

Cabe señalar que a pesar de lo clara que pueda resultar la analogía entre la selección natural y la artificial, este recurso debe ser utilizado con cautela en clase, subrayando las diferencias entre ambas (como el propio Darwin lo hizo) y enfatizando el punto que le ayudó a desarrollar su teoría al estudiar la selección artificial: el criador sólo tiene como materia prima las mutaciones que surgen al azar entre sus crías.

Darwin no ha sido el único científico en utilizar el razonamiento analógico con fines didácticos, muchos otros las han empleado en otros campos; por ejemplo Kekulé tomó la imagen de las serpientes mordiéndose las colas para proponer la estructura del benceno.

Dado que el razonamiento analógico parece ser una fuente importante para describir procesos teóricos por parte de los científicos, es muy posible también que en el aula el razonamiento analógico sea un apoyo para la comprensión de los conceptos teóricos por parte de los estudiantes. Esto querría decir que cuando los alumnos se enfrentan a ideas nuevas (anómalas, según Chinn), el razonamiento analógico pudiera generar no una sino varias explicaciones alternativas que tal vez debieran ser analizadas en un proceso que, adecuadamente dirigido, permitiera el desarrollo de habilidades de pensamiento científico.

Entonces no cabe duda de que en las agendas de investigación educativa debería contemplarse evaluar en las clases de ciencia hasta qué punto los estudiantes usan el razonamiento analógico para generar explicaciones alternativas y el razonamiento científico para probarlas.

## VI.1 UNA DEFINICIÓN DE ANALOGÍA PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Como ya se mencionó, hay muchas explicaciones en la ciencia que involucran objetos o procesos no observables, por lo que para describirlas se requiere frecuentemente del uso de modelos adecuados (Dagher, 1995<sup>(1)</sup>); sin los que es poca la ganancia en la comprensión de ciertos temas, por más que se abunde en explicaciones. Por ejemplo, al enseñar el mecanismo de la evolución, poco se logra en su comprensión cuando tan sólo se añaden observaciones adicionales al fenómeno (no importa lo numerosas que éstas sean); porque para que el mecanismo de la evolución sea entendido, éste tiene que ser imaginado dentro de un esquema conceptual o dentro de un sistema de imágenes que lo hagan plausible. Dicho sistema de imágenes, frecuentemente

expresado en la forma de analogías, metáforas o modelos, no sólo es importante en la enseñanza escolar de la ciencia, sino también en la epistemología científica, como ya se explicó, pues comparten en el ámbito científico y en el aula una naturaleza común que consiste en hacer referencia implícita o explícita entre lo que Dagher, (1995) <sup>(2)</sup>, llama distintos dominios (el científico y el cotidiano). En efecto, el uso de técnicas de abstracción como las analogías, imágenes, experimentos y estudios de caso, ha mostrado tener un papel importante en la construcción de nuevas representaciones científicas e incluso en la transmisión del conocimiento dentro de la comunidad científica (Dagher, 1994).

Aunque la definición de analogía es muy variable debido a sus numerosas aplicaciones en diferentes disciplinas, en el caso de la enseñanza de las ciencias puede verse a las analogías como instrumentos que ayudan a la comprensión. En este trabajo se utiliza la definición dada por Dagher <sup>(1)</sup> en 1995, en la que considera analogías a aquellos aspectos del discurso explicativo del maestro que utilizan una situación familiar similar a un fenómeno no familiar que va a ser explicado. El dominio no familiar que va a ser explicado se denomina blanco u objetivo, y el dominio familiar es llamado término análogo, base, ancla o vehículo. En 1997 Dagher propone una definición más detallada en la que utiliza las denominaciones anteriores y por tanto por analogía entiende la comparación de relaciones entre dos dominios, que implican la transferencia de información relacional desde un dominio que ya existe en la memoria (dominio base), al dominio que va a ser explicado (dominio objetivo).

Al desarrollar o hacer uso de una analogía es necesario considerar que el dominio base no sólo necesita ser familiar a los estudiantes sino que requiere ser cognitivamente más accesible que el concepto blanco u objetivo. Por ejemplo, es más sencillo decir en clase que la selección natural no tiene un fin predeterminado que hacer la analogía de que la selección natural es como un pintor (ver Ayala, capítulo IV.4 de esta tesis) que al mezclar los colores no va a obtener como resultado final un cuadro ya conocido; en este caso a pesar de la familiaridad con el dominio base, éste impone mayores demandas cognitivas que la versión literal del concepto.

Lo anterior hace ver la necesidad de tener cautela en la elaboración de analogías y de lograr acceso al conocimiento previo del aprendiz, de manera que se puedan seleccionar con facilidad las bases o anclas ya asimiladas a estructuras de conocimiento.

El otro aspecto difícil con el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias es evaluar su papel en la facilitación del aprendizaje, que en este trabajo se ha asociado a la medición del cambio conceptual.

## VI.2 EL PAPEL DE LAS ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Se sabe que los maestros de secundaria y preparatoria utilizan a menudo las analogías para promover la habilidad de los estudiantes para resolver problemas, entender textos, comprender los temas científicos en un cierto contexto y construir explicaciones científicas (Dagher, 1994).

Sin embargo, para algunos investigadores todavía es difícil identificar la contribución de las analogías en términos de su participación en el cambio conceptual (Dagher, 1994); cuando mucho se cree que promueven un cambio gradual (Dagher, 1995 <sup>(1)</sup>). También se ha dicho (Duit,

1991) que el papel didáctico de las analogías es ambiguo, o más aún, se citan en la literatura las desventajas que implica su uso, entre las cuales está la posibilidad de que los estudiantes confundan elementos del dominio base con los del objetivo, de manera que no establezcan una verdadera analogía entre ambos. Esto puede solucionarse de dos maneras: una es señalando explícitamente a los estudiantes los lugares en donde la analogía se rompe, o bien usando analogías múltiples en las que se compare el dominio objetivo contra diferentes dominios base. Ejemplo de lo primero es la ya citada analogía del pintor propuesta por Ayala, en la que hay que indicar al estudiante que si bien se puede establecer una analogía en que así como el pintor no crea los pigmentos, la selección natural no crea la variación sobre la que actúa, la analogía se rompe en el punto en que la selección natural no tiende como el pintor a una meta predeterminada.

La inconsistencia en las opiniones acerca de la utilidad de las analogías en la enseñanza se debe, en la opinión de Glynn y Takahashi (1998), a que si se considera que una analogía consiste en transferir ideas de un concepto familiar a uno no familiar, muchas veces no se toma en cuenta que la analogía sólo podrá ser adecuada si el dominio base y el dominio meta comparten características semejantes, es decir, se trata de un problema de mapeo. Se le llama mapeo a una comparación sistemática, verbal o visual entre las características del dominio base y del objetivo. Si no se es cuidadoso con este mapeo, se corre el peligro de que en la mente del estudiante se confundan el dominio objetivo, las características del concepto base, los ejemplos usados y la analogía misma.

Las analogías suelen ser ineficaces porque los autores no siguen reglas para construirlas y su uso sistemático y descuidado causa mayor confusión. Por esta razón, hay quien ha propuesto (Duit, 1991) evitar usarlas. Lejos de esto, en esta tesis se sugiere utilizarlas en la enseñanza de la evolución por selección natural pero siguiendo ciertas reglas. Éstas son:

- a) introducir el concepto objetivo o meta
- b) plantear al estudiante el concepto base
- c) identificar las características relevantes de cada dominio
- d) mapear las similitudes entre ambos dominios
- e) indicar dónde se rompe la analogía
- f) sacar conclusiones a partir de una discusión

Otro origen de problemas con el uso de analogías es para Glynn y Takahashi (1998), que se ha ignorado el importante papel que puede jugar la imagen visual en el proceso de aprendizaje y en la elaboración de las analogías, este aspecto recibe también mucha atención en la metodología de enseñanza propuesta en esta tesis.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta el peligro de confundir a los alumnos con analogías con un enfoque animista, bastante común en los maestros de biología (Watts y Bentley, 1994). En este sentido también se sugiere cautela en el uso de las analogías (Dagher, 1994).

### VI.3 LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ANALOGÍAS AL CAMBIO CONCEPTUAL

Las analogías son muy valiosas para el aprendizaje significativo de la ciencia, especialmente cuando éste se aborda desde la perspectiva constructivista (Glynn y Takahashi, 1998).

Las analogías apoyan la instrucción, particularmente cuando el aprendiz maneja una estructura muy pobre o nula del dominio blanco u objetivo. Permiten además hacer asociaciones entre el dominio base y el objetivo, aumentan el interés por una materia y ayudan a que los estudiantes vean a la ciencia como una forma de construir conocimiento; y por otro lado, como pudo constatarse en este trabajo, dan seguridad al aprendiz en el manejo de conceptos nuevos.

Igualmente se ha planteado (Brown, 1994; Dagher, 1994; Watts y Bentley, 1994) que las analogías son un instrumento de enseñanza que los maestros deberían usar en adición a las demostraciones y experimentos tendientes a aumentar la inteligibilidad y la plausibilidad de sus explicaciones, de donde se desprende que las analogías pueden participar en el proceso de cambio conceptual.

También las analogías pueden ayudar a construir relaciones significativas entre lo que los alumnos ya saben y lo que van a aprender, relaciones que juegan un papel clave en el abordaje constructivista del aprendizaje de las ciencias y en la interpretación del aprendizaje como un proceso de cambio conceptual

Sin embargo, la contribución cuantitativa de las analogías al cambio conceptual es poco clara (Dagher y Cossman, 1992). La revisión de varios estudios sobre el tema muestra que las analogías parecen aportar poco al proceso cuando se persigue un cambio conceptual radical o profundo, ya que aparentemente las analogías tan sólo promueven el cambio conceptual del tipo llamado captura conceptual (Hewson y Thorley, 1989).

Dagher, (1997) recomienda que para determinar la posible contribución de las analogías al cambio conceptual, debe investigarse la necesidad de aclarar el tipo de cambio que se busca, revisar el papel de las analogías fuera del paradigma del cambio conceptual, juzgar la efectividad de las analogías en el currículum y analizar de qué manera las analogías permiten que el maestro descubra cómo van adquiriendo el conocimiento los estudiantes.

Se ha dicho que en la medida en que las analogías simplifican la comprensión de los conceptos a los estudiantes, éstas pudieran tener una contribución significativa al cambio conceptual (Dagher, 1994). Pero para ello, debe cuidarse que se cumplan algunos requisitos como:

1. Definir con claridad el tipo de cambio que se busca, en términos de aprendizaje.
2. Examinar el papel que tiene la analogía en función de cuánto promueve el desarrollo de conceptos científicos y de su participación en la creatividad y actitudes de los estudiantes.
3. Analizar si las analogías son igualmente efectivas en diferentes currícula.
4. Poner atención a la ecología conceptual del aprendiz, ya que la efectividad de una analogía depende de los conceptos base de los que se pueda partir.
5. Recordar que las analogías son ante todo instrumentos de razonamiento, además de que pueden tener función demostrativa.
6. Tomar en cuenta que los estudiantes son capaces desde la secundaria de elaborar sus propias analogías, y que a veces son más útiles las analogías creadas por el propio alumno.
7. Cuidar que las analogías no solamente incidan en la adquisición de conceptos científicos, sino también en la comprensión de los métodos de la ciencia.

Sin embargo, no es del todo claro cuál es el grado de cambio conceptual logrado con analogías y cómo medirlo. Dagher (1994) sugiere que para entender el papel de las analogías en el cambio conceptual debe haber una exploración profunda y continua de las ideas de los alumnos, ya que la investigación no es suficiente si se queda al nivel de examinar los cambios en la comprensión del estudiante, sino que debe llegar a la exploración de cómo influyen las analogías sobre los factores psicológicos del aprendizaje, como la motivación, la confianza y la seguridad, que aumentan el interés por la materia.

Desde el punto de vista de la aplicación práctica de las analogías a la enseñanza, se ha visto en esta tesis que más que averiguar el grado o el tipo de cambio conceptual promovido por el uso de las analogías, (cosa que es muy difícil de evaluar), conviene analizar su contribución al logro de las condiciones que el modelo de Posner propone para lograr el cambio conceptual; contribución de la que se han encontrado numerosas evidencias en la literatura sobre enseñanza de las ciencias (Duit, 1991; Dagher, 1994; Glynn y Takahashi, 1998).

Tomando en cuenta que el enfrentamiento a la insatisfacción con las concepciones previas ha sido propuesto como una de las mejores metodologías para incidir en la modificación de las concepciones alternativas, y partiendo del conocimiento que se tiene de que cuando el nuevo fenómeno que se está presentando al estudiante es muy raro o muy complejo como para enseñarlo directamente, se ha propuesto que las analogías facilitan su comprensión al permitir representarlo mediante signos más familiares. Esto ocurre frecuentemente cuando se enseña evolución a estudiantes que tienen escasa formación en biología. Cuando por ejemplo se explica por qué no es válida la idea de la herencia de los caracteres adquiridos, es muy difícil que el alumno entienda que sólo son heredables las mutaciones ocurridas en las células germinales. Sin embargo, la analogía que establece Dawkins (1993) entre la "traducción" de la información genética y la puesta en práctica de una receta de cocina, simplifica mucho la comprensión de este tema que es fuente de innumerables concepciones alternativas.



Hay que recalcar que sin embargo, en la práctica, hay profundas diferencias entre lo que Posner plantea como enseñanza por conflicto cognitivo y la enseñanza basada en analogías; ya que en la primera el estudiante tiene la oportunidad de hacer explícitas sus ideas, lo que no necesariamente sucede (y más bien es raro) cuando se trabaja con analogías. Por eso, en el caso en que se utilicen las analogías para provocar conflicto cognitivo; habrá que insistir que junto con la analogía el estudiante exprese sus ideas alternativas.

Por lo que toca a la búsqueda de la inteligibilidad de los nuevos conceptos, también planteada por el modelo de Posner, es sabido que esta cualidad se puede lograr cuando un concepto puede ser representado mentalmente por el estudiante, para lo que son de gran utilidad las metáforas, analogías y ejemplos (Sttoflett, 1994). Así, para representar la compleja idea de que la selección natural es creativa pero no tiene una finalidad, resulta muy adecuada la analogía de Dawkins de la imposibilidad de que un mono pudiera escribir un texto predeterminado si no va "guardando" los intentos previos.

También se conoce la contribución de las analogías a la revisión de la plausibilidad de los nuevos conceptos (Treagust, 1996; Thorley, 1991) y sobre todo, la posibilidad de que las analogías ayuden a elevar el estatus de la concepción científica, condición necesaria para muchos autores para que ocurra un cambio conceptual significativo (ver el capítulo III). Por ejemplo, la plausibilidad de que la evolución haya ocurrido gradualmente pero no continuamente, puede apoyarse con la analogía que Darwin hace del éxodo del pueblo de Israel (esta analogía se narra detalladamente en el apéndice).

La contribución de las analogías a la comprensión de la evolución por selección natural ha sido poco explorada, aunque en la práctica escolar cotidiana los maestros las emplean continuamente para explicar este tema. Pero desafortunadamente muchas de estas analogías, al estar erróneamente planteadas, no hacen sino afianzar las concepciones alternativas de los estudiantes. Al observar varias clases sobre la teoría evolutiva, encontré que la construcción inadecuada de analogías se debe en gran parte a la improvisación, por lo que sugiero que el maestro las elabore y analice cuidadosamente antes de exponerlas a sus alumnos. Por otro lado, cabe mencionar que los maestros tienen a su disposición en diversas obras de divulgación de la evolución, una gran cantidad de analogías para ayudar la enseñanza de conceptos complejos como la dirección de la evolución, la selección natural y el azar, el gradualismo, el saltacionismo, la selección acumulativa, etc.

Las discusiones sobre la conveniencia o no de utilizar las analogías en la enseñanza parecieran ser una preocupación didáctica reciente; sin embargo, es conocido que todo maestro de ciencias, y en especial de biología, utiliza analogías en su práctica docente, aunque por lo general dista mucho de elaborarlas adecuadamente.

En uno de los grupos del CCH que tuve oportunidad de observar durante la clase de biología, me llamó la atención que ante la petición de la maestra de que algún alumno explicara brevemente en qué consiste la evolución, un joven contestó: "...la evolución es como el volkswagen...". Después me enteré de que en la clase anterior, la maestra había hecho un símil de la evolución biológica con los cambios que ha sufrido esa marca de automóvil en los últimos 30 años.

Lo anterior es el resultado contraproducente al que se llega después de aplicar descuidadamente y sin análisis previo una analogía. Por lo tanto, si el docente no dedica un esfuerzo adicional al preparar su clase para elaborar una analogía, o no utiliza una analogía de probada eficacia, es muy probable que los alumnos adquieran explicaciones simplistas y concepciones erróneas de los fenómenos naturales.

Lo que esta tesis pretende demostrar en su segunda parte es cómo las analogías correctamente planteadas pueden incidir en la comprensión de algunos conceptos difíciles de explicar en la teoría de la evolución por selección natural, y en qué medida esa contribución puede evaluarse en términos de cambio conceptual.

En el apéndice de este trabajo, se pueden consultar algunas analogías diseñadas por expertos, para explicar puntos difíciles dentro de la teoría de la evolución por selección natural.

## VII. CONCLUSION DE LA PRIMERA PARTE

Algunos métodos de enseñanza de las ciencias se basan en visiones idealizadas de cómo aprenden los alumnos y de cómo opera en ellos el procesamiento de información (Ashman, 1992); por lo que la ciencia escolar se convierte en una amalgama de verdades a medias, simplificaciones, aproximaciones e inexactitudes (Watts, 1994), cuando debería de ser un recurso para hacer la ciencia más accesible.

La forma tradicional de ciencia escolar es aquella en que el profesor es un transmisor del conocimiento, mientras el estudiante es el receptor pasivo (Roth, 1994) y en este modelo, las formas dominantes de enseñanza son la cátedra, el trabajo de escritorio, y si acaso algunas actividades interactivas. Lo anterior, en el supuesto de que el profesor estuviera realmente comprometido con la enseñanza y conociera y empleara recursos educativos, tecnológicos y metodológicos acordes con el contexto pedagógico vigente (Gago, 1996), cuando en la realidad muchos profesores recurren al empleo de medios con “gran apariencia didáctica” que sólo sirven para cubrir el tiempo de clase, o bien los hay quienes en su afán de matar el “verbalismo” caen en el “visualismo” al suponer que basta poner en una transparencia cualquier información para garantizar su penetración (Gago, 1996).

Novak (en Ausubel, 1995) plantea entonces la necesidad de revisar radicalmente los cursos de ciencia básica e incluir en ellos los nuevos conceptos sobre la teoría del aprendizaje; de acuerdo con éstos, durante el proceso de enseñanza se deberían introducir en primera instancia los conocimientos con mayor poder de unificación, como es la teoría de la evolución dentro de la biología; cuando lo que ocurre es que el tema no es parte importante del plan de estudios de la materia (Piñero, 1996). Al respecto, Guillén (1994) considera que dada su posición de concepto estructurador que permite comprender la naturaleza misma de la explicación científica, el tema debería ser incluido de manera temprana en los programas de secundaria.

Una vez que se aprecie la importancia del concepto de evolución incluyendo la teoría de la selección natural y la necesidad de seleccionar y organizar los contenidos de la biología en los niveles preuniversitarios, aún será necesario indicar la manera en que se desarrollará el proceso enseñanza-aprendizaje, proceso crucial y muy relacionado con la participación del profesor y vinculado con la problemática de los alumnos de nivel medio que han recibido conocimientos sobre el tema por medio de fuentes no formales de educación (Guillén, 1994) y que cuando se enfrentan escolarmente al concepto de evolución y a sus explicaciones lo aceptan por el propio prestigio de la ciencia que lo avala, más que por un entendimiento y razonamiento de la misma.

Algunos estudios de los últimos diez años sobre educación en ciencia (Hendry, 1994) muestran que las ideas espontáneas de los niños tienden a permanecer sin ser afectadas por la enseñanza, y que los jóvenes continúan usando sus ideas intuitivas, a pesar de haber recibido explicaciones científicas. Pero al mismo tiempo, los estudiantes que no han estado en contacto con la ciencia, también aprueban los exámenes, lo que muestra que citan, reportan o repiten las experiencias científicas de otros pero sin construir sus propias ideas (Hendry, 1994).

## SEGUNDA PARTE

### VIII. OBJETIVOS

La parte práctica de este trabajo tiene como objetivo general, revisar las distintas formas en las que se enseña la evolución biológica y aportar nuevas maneras de hacerlo acorde con la realidad de los estudiantes mexicanos. Para lograrlo se llevó a cabo una investigación en el nivel medio superior, por ser éste un nivel educativo escasamente estudiado en nuestro país, en particular en la búsqueda de nuevas técnicas de enseñanza de la biología.

El bachillerato es un punto importante de atención en materia educativa, ya que de él depende en gran parte el nivel de conocimientos con el que los estudiantes llegan a la licenciatura de biología ya sea en la Facultad de Ciencias de la UNAM, o en otras universidades del país.

Recientemente, la doctora Edna Suárez, Coordinadora de la carrera de biología, me invitó a participar en un seminario en el que los maestros de la Facultad de Ciencias que imparten la materia de evolución en el semestre de primer ingreso a la carrera de biología, discutían diversas situaciones a las que se habían enfrentado durante el curso. Las preocupaciones fluctuaban entre la necesidad de elevar el nivel de los artículos sugeridos y recomendados en la materia, o bien a qué especialistas renombrados invitarían a impartir conferencias sobre el tema de la evolución a sus alumnos.

Para entonces yo había ya iniciado este trabajo aplicando pruebas para evaluar el conocimiento de la evolución por selección natural desde la secundaria hasta el último semestre de la carrera. Mi sorpresa fue mayúscula al descubrir que las preocupaciones académicas de estos entusiastas maestros se encontraban en un nivel absolutamente más alto de lo que la realidad del estudiantado mexicano muestra en el conocimiento de la teoría de la evolución, considerando que *por lo menos ha llevado dos cursos de biología en la secundaria y uno en el bachillerato.*

Cuando se toman en cuenta los principios constructivistas y la enseñanza por cambio conceptual, que constituyen el marco teórico de este trabajo, se ve claramente que al desconocer las concepciones alternativas de los estudiantes que inician la carrera de biología, se corre el riesgo de que nunca lleguen a ser modificadas a pesar de que la carrera tenga un enfoque evolutivo sustancial. De aquí proviene la importancia de este trabajo, pues en él se demuestra que las concepciones alternativas sobre la evolución son fácilmente localizables, y que una vez detectadas y adecuadamente manejadas, el avance en la comprensión de este tema tan importante para la biología se intensifica significativamente.

Bajo un objetivo general tan amplio subyacen otros objetivos particulares como son:

1. Conocer la calidad del conocimiento (dudas, concepciones alternativas, interpretaciones, etc.) sobre la teoría de la evolución, desde la secundaria hasta el final de la carrera de biología de la UNAM.
2. Comprobar si los estudiantes mexicanos poseen las mismas dificultades en el manejo del tema que las reportadas para estudiantes de otros países.

3. Elaborar un examen que reflejara si los estudiantes poseen los puntos clave para comprender la teoría de la evolución y la manera de resolver problemas con enfoque evolutivo.
4. Conocer el nivel de conocimientos sobre la teoría de la evolución que manejan los estudiantes que están por egresar del sistema CCH, algunos de los cuales continúan con la carrera de biología en la UNAM.
5. Desarrollar una metodología que permitiera detectar, analizar y clasificar las concepciones alternativas que los estudiantes tienen sobre la evolución por selección natural.
6. Detectar el mínimo de conocimientos sobre la teoría de la evolución necesarios para implementar una metodología de enseñanza que considere lo que el alumno cree, sabe y realmente maneja.
7. Dar seguimiento a la transformación de las ideas de los estudiantes durante la aplicación de dicha metodología.

## IX. METODOLOGÍA GENERAL DE ESTE TRABAJO

Con objeto de desarrollar los objetivos antes establecidos, se implantó una metodología que se resume en los siguientes puntos. Posteriormente se explica detalladamente la forma en que se llevó a cabo cada proceso.

1. En un principio se hicieron entrevistas a estudiantes de secundaria y bachillerato para conocer qué tanto saben los estudiantes mexicanos sobre evolución.
2. Al mismo tiempo se revisó la bibliografía sobre la enseñanza de la evolución y en particular sobre las concepciones alternativas, misma que se resume en la primera parte de este trabajo.
3. Se compararon las concepciones alternativas citadas por la literatura con las detectadas en las primeras entrevistas.
4. Con ellas se estructuró un examen que reflejara dichas concepciones, así como los problemas más comunes en la comprensión de la evolución. Este examen no debería ser del tipo escolar, sino más bien acerca de los conocimientos intuitivos sobre el tema (conocimiento procedural), (Jiménez, 1994).
5. El examen debía reflejar los tres temas más difíciles de manejar pero indispensables para comprender la evolución, como son la variación y su origen y el concepto de evolución como cambio en las proporciones genéticas en una población. Debía también mostrar la manera en que los estudiantes resuelven problemas de corte evolutivo, ya sea con un enfoque lamarckiano, ortogénico, teleológico o darwiniano, y sobre todo, debería incluir ejercicios que mostrasen el dominio de la teoría darwiniana, por medio de preguntas dobles (doble-elección “respuesta-razón”) esto, con objeto de evitar que se tuvieran que interpretar las respuestas de los examinados.
6. Se buscó cómo detectar las concepciones alternativas, diferenciarlas, calificarlas y medirlas.
7. Se dio a revisar las pruebas a expertos, se modificaron las preguntas y se obtuvo el coeficiente de validación.
8. Con el examen se hizo el seguimiento del conocimiento de la teoría que explica la evolución desde secundaria hasta el último semestre de la facultad. Esto tuvo por objeto delimitar los conocimientos mínimos, ver la evolución del manejo del concepto y detectar los puntos más problemáticos en la comprensión de la teoría.
9. Durante el pilotaje se encontró que los estudiantes de secundaria no manejan conceptos indispensables para comprender la evolución, como mutación, célula somática y reproductora, gen, ADN, etc., mismos que se introdujeron en la propuesta del método de enseñanza.

10. Una vez detectado el conocimiento de la evolución de la secundaria a la facultad, se localizaron nuevamente los puntos más conflictivos y se validó el examen, al que se denominó preprueba.
11. Con los resultados anteriores se decidió tener como nivel meta el del CCH (sexto semestre), primero porque hay pocos estudios sobre el aprendizaje del tema de la teoría de la evolución en el bachillerato; segundo, porque en estas escuelas los programas incluyen un mayor número de cursos de biología que en otros bachilleratos (dos obligatorios y dos optativos) y tercero, porque el CCH fue la escuela de nivel medio superior<sup>8</sup> que obtuvo el mejor promedio en el seguimiento que se hizo de la secundaria a la facultad. Puede suponerse que ello se explica debido a que los alumnos tienen menos conflicto con ciertos aspectos contextuales como la religión. Y cuarto, porque un porcentaje alto<sup>9</sup> de los estudiantes de primer ingreso a la carrera de biología en la UNAM provienen de ese sistema educativo.
12. Una vez llevados a cabo los pasos anteriores, se procedió a revisar en la literatura las estrategias reportadas como óptimas en la enseñanza de la evolución.
13. Con ellas se diseñó una metodología de enseñanza que abarcaba las últimas propuestas exitosas en la enseñanza del tema, y se añadió como aportación nueva el uso de analogías, ya que la literatura habla de su contribución al cambio conceptual, pero no se han aplicado a la enseñanza de la teoría de la evolución. Se buscaron analogías apropiadas en la literatura.
14. Esta metodología se aplicó en tres bloques:
  - a) En la secundaria, para detectar si al enseñar con antecedentes como célula, gen, mutación, meiosis, etc., mejoraba el aprendizaje, y en caso de ser así, añadir esos antecedentes a la metodología de intervención en el CCH.
  - b) En el CCH Vallejo (6° semestre), para observar la forma en que va cambiando el pensamiento de los estudiantes al seguir el modelo de Posner, que es el modelo de cambio conceptual en que se basa este trabajo.
  - c) En el CCH Oriente (6° semestre), que fue donde se probó la nueva metodología y se compararon sus resultados con los obtenidos en la enseñanza tradicional, con la metodología propuesta pero sin analogías y con analogías. A los exámenes aplicados en la secundaria y CCH con los que se evaluó el conocimiento después de la enseñanza con el método propuesto, se les denominó postpruebas.

---

<sup>8</sup> Los grupos examinados del CCH habían llevado ya tres semestres de biología (Biologías I, II y III) e iniciaban un cuarto curso (Biología IV).

<sup>9</sup> Tanto en los grupos del turno matutino como el del vespertino de primer ingreso a la Facultad de Ciencias examinados, más del 50% de los alumnos provenían en enero de 1998, del sistema CCH.

15. Durante tres meses se preparó al maestro que impartiría clases con el método propuesto.
16. Se revisaron los exámenes y se agruparon, graficaron y clasificaron las respuestas
17. Se hizo el análisis estadístico de los resultados obtenidos en las prepruebas.
18. Se hicieron análisis estadísticos de los resultados (postpruebas), de los grupos del CCH Oriente partiendo de la comparación alumno por alumno de la preprueba a la postprueba.
19. Se llevó a cabo un análisis para detectar la bondad del método de enseñanza por analogías.



## X. PROPUESTA DE UNA PRUEBA PARA EVALUAR EL APRENDIZAJE DE LA EVOLUCIÓN

### X.1 ANTECEDENTES

Como ya se mencionó, el objetivo final de este trabajo consiste en evaluar la influencia de diversas intervenciones educativas en el aprendizaje de la teoría de la evolución. Para ello fue necesario hacer una recopilación de los trabajos que sobre el tema se han realizado a lo largo de los últimos diez años. Se encontraron diversas propuestas de cómo enseñar la evolución, principalmente enfocadas a buscar el cambio conceptual (que se describirán y analizarán posteriormente con detalle). Pero antes de proceder a aplicar las diversas alternativas metodológicas para la enseñanza del tema, era necesario desarrollar un instrumento de evaluación para las pre y las postpruebas.

Dicho instrumento recopila las experiencias de diversos investigadores en enseñanza de la evolución y parte de las concepciones erróneas que suelen tener los estudiantes según se reporta en la literatura.

Las preguntas y sus respuestas fueron desarrolladas a partir de Farrington (1966), Jay (1993), Jensen y Finley (1996), Mayr (1972 y 1992), Templado (1988), y Whitfield (1993).

Las preguntas basadas en las concepciones alternativas de los estudiantes provienen principalmente del artículo "Lamarck revisited" de E. Mayr (1972) para plantear las concepciones lamarckianas de los estudiantes y de Bishop y Anderson (1990), Demastes, Settlege y Good (1995), Jensen y Finley (1995), Jensen (1996), y Jensen (comunicaciones personales), Settlege (1996), y del poco citado E.D. Greene (1990), quien realizó un excepcional trabajo de tipificación de las concepciones alternativas sobre evolución.

De cada uno de los autores mencionados se tomaron las ideas que parecen mejores para elaborar un examen de acuerdo a las características de las escuelas de enseñanza media superior mexicanas. Esto es, que tuvieran una longitud no mayor de treinta reactivos y que las respuestas no implicaran explicaciones libres por parte de los estudiantes, ya que con las preguntas de opción múltiple Tirado (1994) y López (1994) se evita la subjetividad en la interpretación de las respuestas.

### X.2 CONCEPTOS TOMADOS EN CUENTA PARA ELABORAR LAS PRUEBAS.

De Bishop y Anderson (1990) se tomaron las ideas que forman el marco general del examen para clasificar a los estudiantes en aquéllos que tienen una concepción científica, los que la tienen errónea y los que no tienen ninguna. Por otro lado, a partir de estos autores se consideraron también los principales temas problemáticos para los estudiantes, como son:

- a) Origen de los cambios en una población.
- b) Papel de la variación en las poblaciones.
- c) La evolución como cambio en la proporción de individuos con nuevos caracteres.

De Demastes, Settlage y Good (1995), quienes por cierto repitieron el trabajo de Bishop y Anderson (1990) y añadieron una comparación entre estudiantes de licenciatura y del equivalente a la preparatoria, se tomaron sus propuestas para clasificar las respuestas de los estudiantes

De Greene (1990) se tomó la idea de considerar si el estudiante tiene enfoque tipológico o poblacional, lo que para este autor es el punto que determina las otras dos dificultades que estudian Bishop y Anderson (1990) en la comprensión de la evolución.

El trabajo de Greene también permite ver si el estudiante considera la idea de selección natural y si el tipo de cambio evolutivo es abierto o cerrado. De tales consideraciones se tomó la idea de distinguir si las respuestas de los estudiantes son lamarckianas, teleológicas, ortogenéticas o darwinianas.

De Jensen y Finley (1995) se adaptó la manera de evaluar el cambio en las concepciones de los estudiantes mediante su propuesta de "Análisis Conceptual", al que se le añadió simplemente una escala de calificaciones. La comunicación personal con Jensen y su artículo de 1996 permitieron conocer las frases más comunes empleadas por los estudiantes cuando tienen concepciones alternativas o científicas, mismas que se adaptaron a las respuestas de opción múltiple del examen elaborado en este trabajo. (Estas frases pueden consultarse en el último inciso del capítulo II de esta tesis).

Finalmente, de Settlage (1996), se tomó el modelo para elaborar preguntas de opción múltiple en las que no hay que recurrir a las explicaciones abiertas. Aunque el trabajo de Settlage tiene un enfoque muy diferente al del resto de los autores mencionados, su estilo de preguntas se adapta mejor al que se requería para el presente trabajo de evaluación.

### **X.3 INCLUSIÓN DE LOS PROBLEMAS MÁS COMUNES QUE TIENEN LOS ESTUDIANTES**

De acuerdo a los tres aspectos problemáticos detectados por Bishop y Anderson (1990), se hizo un listado de aquellos puntos que se pensó que deberían reflejarse en las respuestas del examen.

Para origen y supervivencia de nuevos caracteres:

- 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 uso o desuso de ciertos órganos o funciones
- d) La adaptación se da como respuesta al ambiente
- e) No se consideran las mutaciones por azar, o no hay mutaciones
- f) No se relacionan las mutaciones con cambios en el ADN
- g) La selección natural ocurre al azar
- h) La adaptación se da como cambio proximal
- i) Un creador o la naturaleza promueven los cambios evolutivos

Para el papel de la variación en las poblaciones:

- a) No se considera la variación
- b) No se detecta el éxito reproductivo
- c) No se advierte que algunos organismos no logran sobrevivir ante ciertas condiciones

Para la evolución como cambio en la proporción de individuos con caracteres discretos:

- a) El cambio gradual se da en varias generaciones, no en la proporción de individuos.
- b) Los cambios son para mejorar
- c) No se considera el tiempo durante el que ocurre el cambio
- d) La evolución moldea a toda la especie

#### X.4 PROPUESTA ESPECÍFICA DE UNA PRUEBA

- A. Objetivo: Conocer si los estudiantes tienen una concepción científica de la teoría de la evolución; de no ser así, determinar si las concepciones alternativas se ajustan a algunos de los tres puntos planteados por Bishop y Anderson (1990).

Examen tipo “cierto o falso” con dos opciones en cada pregunta.

Dos preguntas por punto a considerar. Total (6).

- B. Objetivo: Dentro de los tres puntos anteriores determinar los subproblemas (manejo de la variación, de su origen y del concepto de evolución)

Examen tipo “escoger entre cuatro opciones (frases) aquella que resuelva un problema”:

- a) Darwiniano   b) Lamarckiano   c) Teleológico   d) Ortogénico   n) otra

Dos preguntas en las que se abarcan en cada una los cuatro tipos de respuesta. Total (2)

- C. Objetivo: Explicar los tipos de cambio en la concepción de la evolución a partir de los diferentes métodos de instrucción.

Examen tipo “doble elección – respuesta razón” (Haslam, 1987)

Preguntas de dos respuestas, acompañadas por tres explicaciones posibles. Total (10).

Total de preguntas de la prueba: 18

A continuación se muestran las preguntas que se usaron como preprueba. En el apéndice puede consultarse la postprueba.

(preprueba)

Estamos interesados en saber qué sabes sobre la evolución. Te agradeceremos que respondas a las siguientes preguntas. Este cuestionario no tiene calificación escolar, solamente es una encuesta.

## BIOLOGIA

Nombre \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

Semestre \_\_\_\_\_ Turno \_\_\_\_\_ ¿Ya cursaste evolución? \_\_\_\_\_

Preparatoria de procedencia \_\_\_\_\_ Sistema  UNAM   
CCH

## 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 es la mejor opción para completar la idea.

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 un 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 serían 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 salamandras que vive en cuevas, sea Ciega?

Porque ciertas salamandras de la población, que tenían 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 hereda 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/h 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/h?

- 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 D.D.T. Sin embargo, cuando se empezó a usar el D.D.T. casi todos los mosquitos morían.

Actualmente muchas poblaciones de mosquitos resisten el D.D.T. porque:

- L) Los mosquitos fueron desarrollando poco a poco resistencia al D.D.T., heredándosela a sus hijos; los que a su vez fueron más resistentes al D.D.T. que sus abuelos.
- T) La naturaleza formó mosquitos resistentes al D.D.T.
- O) Algunos mosquitos aprendieron a adaptarse al D.D.T.
- D) Algunos mosquitos eran resistentes al D.D.T. 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 hasta 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 todos 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 al 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 las plagas de langostas era controlada con el insecticida D.D.T. Recientemente los químicos han encontrado que las langostas ya no son atacadas por el D.D.T. La razón de este cambio es que:

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

PORQUE:

- A. En cada generación, las langostas que sobrevivían al D.D.T., tenían descendencia.
- B. La necesidad de sobrevivir hizo que las langostas cambiaran.
- C. El uso del D.D.T. 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 hasta de 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 una 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 sobrevivirían 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 pinos sobrevivirán pero otros morirán por la sequía.
  2. Todos los pinos 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 el color de su cuerpo.

## X.5 JUSTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PREGUNTAS DE LA PRUEBA.

El desarrollo de las pruebas de diagnóstico se inició cuando se recopilaron de la literatura los contenidos mínimos esenciales que debería abarcar una clase acerca de la teoría de la evolución, estos mínimos pueden consultarse en el capítulo IV.

En el presente trabajo se requirió hacer pruebas piloto para desarrollar la versión final de la preprueba. El diseño y resultados de estas pruebas piloto se explican posteriormente; éstas sirvieron para saber si las respuestas de los estudiantes mexicanos de nivel medio superior son del mismo tipo que las de aquéllos de otros países.

Parte A:

Para ver si los estudiantes tienen concepciones científicas, alternativas o nulas sobre evolución, y en caso de tener concepciones erróneas en qué grupo pueden clasificarse, se plantean seis preguntas tipo Likert, para saber si los alumnos tienen un concepto adecuado de la evolución darwiniana. En caso de que las respuestas sean erróneas, para poder determinar a qué grupo de concepciones pertenecen, se hace que el alumno distinga la opción errónea de la acertada, planteándole dos opciones.

El alumno deberá contestar de acuerdo a la siguiente escala:

- a) Escoger el 1) si sólo la frase de la izquierda es correcta.
- b) Escoger el 2) si no sabe o no se acuerda (duda).
- c) Escoger el 3) si sólo la frase de la derecha es correcta.

El puntaje a las respuestas es:

Si la respuesta es 1.....5 puntos

Si la respuesta es 3.....5 puntos

Si la respuesta es 2.....2.5 puntos

Respuestas incorrectas .....0 puntos

De aquí se pueden obtener las siguientes combinaciones por cada par de preguntas:

2	respuestas correctas	$5 + 5 = 10$
1	respuesta correcta y una duda	$5 + 2.5 = 7.5$
1	respuesta correcta más una incorrecta	$5 + 0 = 5.0$
2	respuestas en duda	$2.5 + 2.5 = 5.0$
2	respuestas incorrectas	$0 + 0 = 0$
1	respuesta incorrecta y una en duda	$0 + 2.5 = 2.5$

### Parte B:

En esta sección se intenta clasificar a las concepciones alternativas de los estudiantes de acuerdo a los postulados de Greene (1994). Para ello se plantean dos preguntas de opción múltiple cada una con cinco reactivos.

Dichos reactivos se refieren a explicaciones:

- 1) Lamarkiana
- 2) Teleológica
- 3) Ortogenética
- 4) Darwiniana
- 5) Nula (para evitar respuestas inventadas)

La evaluación de estas respuestas se hace dando el número de puntos que corresponde al número de pregunta. La quinta pregunta no se considera.

### Parte C:

El análisis de las respuestas entre la pre y la postprueba, permite saber hasta qué grado cambiaron las respuestas de los estudiantes con la intervención; pero aún será necesario describir qué tipo de cambios ocurrieron. Para esto se plantean 10 preguntas de dos opciones cada una, acompañadas de tres explicaciones que justifiquen las primeras respuestas.

Las siguientes son las posibles categorías de respuestas en términos de los tipos de relaciones entre la respuesta inicial y su justificación asociada.

CD	Concepción Darwiniana: respuesta inicial correcta acompañada de una razón correcta. Esta es el mejor tipo de respuesta.
CA	Concepción alternativa: respuesta inicial correcta acompañada de razón incorrecta. Aquí se considera que una fuerte concepción ingenua permite al estudiante resolver correctamente la pregunta pero por razones equivocadas.
CI	Correcta incompleta: respuesta inicial incorrecta acompañada por una razón correcta. Aquí podría hablarse de una concepción errónea menor o de conocimiento incompleto.
FC	Falta de comprensión: respuesta inicial errónea acompañada de explicaciones erróneas, lo que muestra ignorancia del tema. Esta respuesta puede corresponder también a una concepción alternativa no funcional. Es el peor tipo de respuesta.

Los criterios para evaluación de estas 12 preguntas son los siguientes:

<u>Tipo de respuesta</u>	<u>Puntos</u>
Explicación incorrecta	0
Respuesta incorrecta	1
Respuesta correcta	2
Explicación correcta	3

De esta manera la categoría CD tendrá un puntaje de 5, CA de 2, CI de 4 y FC de 1.

Una vez que todas las respuestas de las pre y las postpruebas han sido asignadas a cada una de las cuatro categorías, es posible detectar qué cambios ocurrieron entre las dos pruebas.

## X.6. LAS RESPUESTAS A LA PRUEBA.

### Parte A

#### Preguntas 1 y 2

Las respuestas correctas deben reflejar que los caracteres se originaron por cambios azarosos en el material genético (mutaciones al azar o recombinación sexual) o bien, que sobreviven o desaparecen por selección (selección natural) debida a factores ambientales.

Las incorrectas muestran que mediante un proceso único, las características de las especies cambian gradualmente.

### Preguntas 3 y 4

Las respuestas correctas deben mostrar que las poblaciones evolucionan debido a que algunos de sus miembros poseen una ventaja reproductiva sobre otros individuos, en virtud de sus características genéticas.

Las incorrectas reflejan que la evolución es un proceso que modifica a las especies como un todo.

### Preguntas 5 y 6

Las respuestas correctas deben reflejar que las nuevas características surgen como cambios discretos en los individuos y que éstas se establecen gradualmente en la población como aumento en la proporción de individuos con la nueva característica a través de varias generaciones.

Las incorrectas atribuyen el cambio evolutivo a un cambio gradual en las propias características.

De esta manera, un total de 18 puntos para la Sección A indicará una concepción científica de la evolución y un total de cero puntos indicará una concepción errónea.

### Parte B

#### Problemas 1 y 2

Los incisos L, T, O, D, N corresponden respectivamente a:

Explicación lamarckiana

Explicación teleológica

Explicación ortogenética

Concepción darwiniana

### Parte C

Las respuestas correctas a las 10 preguntas permitirán la clasificación en

Concepción	Respuesta de 1ª. Parte	Explicación de 2ª. Parte	Puntos totales
CD (darwiniana)	Correcta	correcta	5
CA (alternativa)	Correcta	incorrecta	2
CI (incompleta)	Incorrecta	correcta	4
FC (no entendimiento o no funcional)	Incorrecta	incorrecta	0

Para calificar, se dará puntaje de "2" a las respuestas correctas y de "1" a las respuestas incorrectas de la primera parte.

Y se darán puntajes de "3" a la explicación correcta y de 0 a la explicación incorrecta de la segunda parte.

## XI. DESARROLLO DE UNA PRUEBA PILOTO

En el capítulo anterior se propuso un instrumento de evaluación para determinar el grado de comprensión que sobre el tema de la evolución tienen los estudiantes de nivel medio y medio superior. Dicha propuesta de prueba fue revisada por tres evolucionistas expertos, y se obtuvo una concordancia de 92%. Las preguntas que suscitaron desacuerdo fueron modificadas y revisadas nuevamente por los expertos, hasta que se llegó a una versión final.

Posteriormente se llevaron a cabo pruebas piloto para comprobar que las preguntas de la preprueba reflejaran las concepciones que sobre la evolución tienen los estudiantes mexicanos. Estas pruebas piloto se hicieron de manera oral a dos grupos, uno de treinta estudiantes entre los 14 y los 20 años de edad, y otro de 17 estudiantes del último año de preparatoria entre los 15 y los 18 años.

El cuestionario piloto tuvo por objeto determinar si las respuestas de los estudiantes reflejan las concepciones alternativas reportadas por otros autores.

La prueba que se hizo al primer grupo consistió en preguntar a los estudiantes:

1. ¿Qué has aprendido en la escuela sobre evolución?
2. ¿Cuál fue la propuesta de Darwin sobre la evolución?
3. ¿Cómo evolucionan los seres vivos?

Los estudiantes contestaron en forma oral a estas preguntas en entrevistas personales. Se analizaron las respuestas y se identificaron los patrones de respuesta. Se revisó que los errores principales detectados en estas entrevistas aparecieran reflejados en las preguntas de la preprueba.

Resultados de las encuestas realizadas al primer grupo.

Casi todos los estudiantes dicen que la evolución es un hecho (83%), pero no saben explicar sus causas; cuando tratan de hacerlo se refieren a factores ambientales (65%), y utilizan los verbos “necesita” (76%) o “quiere” (9%) o la frase “para hacerlos mejores” (15%). Algunos hablan de mutaciones (4%), pero cuando se les pide que expliquen las direcciones de la evolución, invariablemente se refieren a las necesidades de los organismos.

Respecto al origen y supervivencia de nuevos caracteres en la población, en ningún momento se mencionó que los nuevos caracteres se originan por cambios al azar en el material genético (mutación y recombinación sexual), y que estos caracteres persisten o desaparecen por efecto de la selección natural. En contraste, los estudiantes con concepciones alternativas no pueden reconocer la existencia de la mutación y la recombinación sexual que afectan a las poblaciones y muchos de los estudiantes (65%), creen que las condiciones ambientales son directamente responsables de los cambios en las características de los individuos.

Cuando los estudiantes mencionaban al ambiente, se les pedía que extendieran un poco más el tema y las respuestas eran de dos tipos, o que el ambiente actúa directamente sobre los organismos, o bien que el ambiente (de alguna manera) cambia a los genes. Los que tienen esta última concepción hablan de evolución progresiva donde los genes de cada generación sucesiva mejoran la adaptación al ambiente.

Algunos estudiantes explican que la necesidad determina la apariencia de los seres vivos, pero en ningún caso pudieron explicar cómo ocurre este proceso.

Hablan continuamente de uso y desuso, y todos sin excepción mencionaron la palabra adaptación en alguna forma. Lo que tiene muy claro el 47% de los estudiantes encuestados del primer grupo, es que el uso y desuso de las partes del cuerpo (que según ellos produce modificaciones), tiene que ocurrir en el transcurso de largos periodos.

Los estudiantes nunca mencionaron la noción del papel que juega la variación en las poblaciones, y consideran que la selección actúa sobre la población como un todo.

Por otra parte, la evolución como cambio en la proporción de individuos como unidades discretas es otra fuente de concepciones alternativas en la que los estudiantes consideran a la evolución como la gradual y progresiva mejoría (o deterioro) de las características de la población en generaciones sucesivas.

Valoración del segundo grupo.

Se realizaron pláticas con 17 estudiantes del último año de diversas escuelas preparatorias que cursan el bachillerato en el área químico-biológica. En estas pláticas personales con una duración aproximada de diez minutos por estudiante, se registraron las respuestas más comunes al solicitarle al estudiante que hablara sobre cómo ocurre el cambio evolutivo. Previamente se le explicaba brevemente lo que es una especie y se les mencionaba que los biólogos consideran que las especies cambian.

Con este grupo de encuestados se procedió a seguir preguntando en cuanto el alumno respondía una pregunta. La siguiente pregunta se refería siempre a su respuesta anterior.

## XI.1. RESULTADOS DE LA PRUEBA PILOTO

En la explicación que dan los alumnos sobre el desarrollo de las especies se pone de manifiesto un pensamiento de tipo teleológico en el que los estudiantes dicen que las especies cambian para que haya vida en la Tierra (47%). Al describir esta visión de la naturaleza, se observa que el estudiante tiene la idea de que cada uno de sus componentes está en su lugar y que tiene una función específica que cumplir.

Otro tipo de explicación es la lamarckiana (89%), en la que se dice que los órganos se desarrollan por el uso y que es posible heredar dichos cambios. Algunas veces los alumnos describen esto como un proceso intencional, como si el desarrollo fuera el resultado de un deseo por parte del individuo o de la especie (ortogénesis).

En este grupo se encontró también la dificultad de entender el significado de la diversidad de los organismos dentro de una misma especie. Como es sabido, es importante que el estudiante tenga la concepción de las variaciones que pueden encontrarse entre los organismos de la misma especie ya que éstas representan el potencial de cambio.

Un 21% de los estudiantes no pudo dar ninguna explicación sobre cómo se desarrollan las especies, y mencionaron que las formas inadecuadas desaparecen. Continuamente dicen que una especie tiene que adaptarse si va a sobrevivir, y que si no se adapta se extingue. Un 7% dijo que la adaptación es algo intencional. Muy comúnmente (65%) creen que la adaptación ocurre al nivel del individuo y no pueden relacionarla con la evolución de toda la especie.

Una parte de los encuestados (11%) habla de que la naturaleza crea necesidades; por ejemplo, una estudiante que planea ingresar a la carrera de biología dijo que en la naturaleza sobrevive el más fuerte, que el débil es "borrado" y que la naturaleza está experimentando durante millones de años para buscar las mejores soluciones. Esta misma alumna explica que la especiación se debe a cruces entre diferentes especies, de donde surgen mutaciones o malformaciones. Da la impresión de que estas respuestas emplean parte de la información quizá adquirida en la escuela o en los textos, pero mal utilizada.

Los pocos estudiantes que hablaron de mutaciones (13%) tienen en mente que éstas ocurren durante un proceso largo y gradual, pero no pueden explicar qué determina el proceso.

Las explicaciones más darwinianas ocurrieron en el 12% de los casos. Algunos de estos alumnos mencionaron un equivalente a la selección natural pero sin utilizar el término. Su idea de selección suele tener en mente la eliminación.

El 98% de los casos no pudieron distinguir entre los niveles individuo y especie, y en ese contexto, ven a la adaptación como un deseo. También individualizan o personalizan las explicaciones, que muchas veces son antropomórficas, lo que hasta cierto punto mostró que a pesar de que al inicio de la entrevista se les dió a los alumnos una definición sencilla de especie, la siguen percibiendo en términos de un conjunto de individuos.

## XI.2. LAS CONCEPCIONES ALTERNATIVAS ENCONTRADAS.

De los resultados anteriores pueden resumirse una serie de errores en la explicación de la evolución por parte de los estudiantes. En este caso me referiré únicamente al grupo de estudiantes del último año de preparatoria.

- a) La noción de variaciones individuales debidas a mutaciones espontáneas dentro de una población está prácticamente ausente en su discurso. Cuando hablan de mutaciones, éstas son generadas directamente por las necesidades del ambiente. (Aunque en sentido estricto las mutaciones si son generadas por el ambiente).
- b) La adaptación es descrita como un proceso positivo, más que como el resultado final de la selección de los individuos mejor adaptados. Parece ser que la pobre definición que usan del término adaptación se debe al lenguaje utilizado por los textos. En el capítulo III se discute más ampliamente el origen de este error.



- c) Los estudiantes no toman en cuenta las escalas de tiempo al hablar de evolución, extrapolan indistintamente los cambios individuales durante periodos cortos a cambios en poblaciones a lo largo de muchas generaciones.
- d) Los estudiantes que comprenden pobremente la selección natural introducen frecuentemente el concepto de inmunidad, por ejemplo, dicen que un organismo “se hace inmune” a un agente ambiental determinado, y que transmite esta inmunidad a sus descendientes. Esto es un ejemplo del abuso de un término mal comprendido en el lenguaje cotidiano y aplicado a la evolución.

Lo anterior muestra que al explorar en los alumnos la comprensión de la evolución por selección natural, salen a la luz otros procesos biológicos poco comprendidos, entre ellos las mutaciones y la diferencia entre células somáticas y reproductoras; en especial, no les resulta claro que no hay posibilidades de intercambio de información entre células somáticas y reproductoras.

Los patrones de comprensión son similares a la interpretación lamarckiana de la evolución, y aún en la preparatoria, los alumnos creen que, si lo necesitan, los organismos pueden adaptarse gradualmente a un cambio en el ambiente y así es como evolucionan. Esto demuestra que las ideas lamarckianas actúan como una barrera que bloquea el aprendizaje de las ideas darwinianas.

La consideración de los aspectos probabilísticos del proceso evolutivo está fuera de su alcance y el concepto de azar nunca es mencionado.

Se ha señalado continuamente la importancia de que el maestro conozca el papel que tiene en el aprendizaje el conocimiento previo; así que para planear un curso sobre el tema es muy importante pensar en términos de identificar las jerarquías que el alumno maneja, más que en buscar estructuras lógicas como lo señala Giordan (1997), es decir, habrá que identificar en el conocimiento previo de los estudiantes los conceptos clave llamados subsumidores, que son más generales e inclusivos que el material que se va a aprender.

De acuerdo con lo anterior, se propone en el siguiente apartado una metodología de enseñanza de la evolución para estudiantes de bachillerato.

## XII. UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA

### XII.1 LA METODOLOGÍA GENERAL DE ENSEÑANZA

La metodología que a continuación se reseña someramente, está descrita con detalle en el apéndice de esta tesis; toda ella fue desarrollada de acuerdo a las estrategias de enseñanza que se propusieron en el capítulo V.

Dado que uno de los objetivos principales de este trabajo consiste en medir las aportaciones de un enfoque histórico que enfrente las concepciones alternativas de los alumnos y de un enfoque basado en el empleo de analogías para acrecentar la comprensión de la evolución por selección natural, se llevó a cabo la siguiente estrategia de enseñanza:

A. La primera parte de la intervención se llevó a cabo en secundaria:

Para encontrar el punto de partida de la enseñanza de la evolución, se trabajó con 90 alumnos de secundaria (30 de cada grado) a los que se les aplicaron las prepruebas.

a) Posteriormente a un grupo de 30 alumnos se le dio clase por 6 horas (en diferentes días) partiendo de antecedentes de genética como célula, gen, cromosoma, mutación, distinción entre células somáticas y sexuales, etc. A este grupo se le denominó "con antecedentes".

b) A otros 30 alumnos de secundaria se les dio clase con la metodología que se detalla en el apéndice, pero en este caso en lugar de antecedentes de genética se les dio clase mostrando pruebas de la evolución, como tradicionalmente se enseña el tema.

B. A continuación se desarrolló la investigación en distintos grupos de bachillerato del sistema CCH.

a) Como control se contó con un grupo escolar al que se le enseñó la teoría de la evolución tal como lo hacen tradicionalmente los maestros de bachillerato.

b) En el enfoque de postprueba se trabajó con dos grupos diferentes: en uno se dio la clase con enfoque histórico y enfrentamiento a las concepciones alternativas de los estudiantes; y en el otro grupo se añadió el uso de analogías como instrumento para revelar dichas concepciones.

Para dar una instrucción enfocada en la historia se les mencionó a los alumnos a Lamarck y la teoría de la evolución por uso y desuso de órganos preexistentes; la teoría de Paley de la teología natural, que propone que un creador inteligente controla el equilibrio de la naturaleza; y el fijismo de Cuvier quien creía que el cambio propuesto por Lamarck alteraría la estricta organización de los organismos. Igualmente se les dieron a conocer las razones por las cuales fue tan difícil la aceptación de las ideas de Darwin en el siglo pasado. Esto se tomó de *One Long Argument* (Mayr, 1991).

El segundo paso fue enseñar los principios lamarckianos, poniéndose énfasis en el hecho de que Lamarck no aceptaba la idea de la extinción ya que pensaba que toda criatura tenía la capacidad de sobrevivir mediante el cambio. Se usaron dos casos para ejemplificar el lamarckismo: la evolución del cuello largo de la jirafa y la musculatura de los brazos de los herreros para explicar la herencia de los caracteres adquiridos. El propósito de este ejercicio fue enfrentar a los alumnos a sus preconcepciones sobre evolución.

La tercera parte estuvo enfocada a las evidencias que se oponen a Lamarck, como los experimentos de Weismann de fines del siglo pasado y el de la circuncisión humana; estos ejemplos contradicen las dos leyes de Lamarck. También se menciona el experimento de Payne de crecer moscas en completa oscuridad (en contra de Lamarck y la teleología). Este paso pretendió provocar el "conflicto cognitivo". También se les mostró el significado de las frases teleológicas como "para", "con el propósito de" y las lamarckianas "gradualmente mejoraron", "pasaron sus mejoras a la siguiente generación".

El cuarto paso fue enseñar la teoría de Darwin de la selección natural. Aquí se mencionaron sus principios básicos, que se iban contrastando con las ideas lamarckianas. Se mencionó a quienes influyeron en Darwin, y una breve biografía de este último. Esta etapa se basó en la obra de Mayr (1982) "The growth of biological thought".

Con apoyo de diapositivas se explicaron diferentes adaptaciones de los organismos de acuerdo a las explicaciones darwinianas y se emplearon frases darwinianas clave como "variación dentro de la población" o "variación al azar". En esta etapa se buscó lograr las condiciones del modelo de Posner: ver que el material sea plausible. Aquí se dieron ejemplos como el de *Biston betularia* y se enfatizaron las mutaciones como fuente de variación y la selección natural como el proceso que determina en el éxito relativo de un nuevo carácter en la población.

El quinto paso fue resolver problemas desde las perspectivas darwiniana y lamarckiana para que los alumnos noten las desventajas de la última y perciban que la darwiniana es más fructífera. El término fructífero se refiere a lograr que una cierta concepción tenga valor para el aprendiz, que le permita abordar problemas antes insolubles, o que le sugiera nuevas posibilidades, direcciones o ideas. Por ejemplo, se pidió a los estudiantes que explicaran con sus propias ideas y con lo que habían aprendido de la evolución darwiniana, la razón por la que ciertos peces que viven en cuevas son ciegos, para que contrastaran ambas posturas. Una vez que ponen en juego las ideas de mutación y variación, sus ideas originales les parecen absurdas.

- c) Con otro grupo se probó el uso de las analogías para mejorar la comprensión de la evolución. Para ello se empleó una serie de analogías planteadas por Dawkins (1993), en "El relojero ciego", y por Berra (1990), Sherman (1975), y Ayala y Ruiz (1998). (Ver apéndice).

Se introdujeron también ejercicios que permiten concebir que con el tiempo han ocurrido cambios en los seres vivos, y que los mecanismos de tales cambios pueden ser observados y sometidos al escrutinio científico. Considero que estos ejercicios son necesarios para que los estudiantes logren entender la teoría de la evolución.

Dado que los estudiantes tienen sólo marginalmente formadas las estructuras mentales necesarias para conceptualizar estos tópicos complejos, se utilizó una gran variedad de ejercicios y experimentos que facilitan el aprendizaje. Estos fueron tomados de muchos autores que proponen ingeniosos ejercicios para enseñar la evolución, como los postulados por McComas (1991), Fifield (1992), o Peczkis (1993).

## XII.2 DETALLE DE LAS METODOLOGÍAS SEGUIDAS EN LAS INTERVENCIONES EDUCATIVAS

### A) En secundaria

La intervención en secundaria se desarrolló de dos maneras, a un grupo se le dio la clase en 6 sesiones. En la primera se habló a los alumnos de las evidencias de la evolución para introducir el tema tal como ocurre con la enseñanza tradicional y como lo pide el programa oficial de biología.

A otro grupo se le dio clase suprimiendo esta primera parte y en lugar de ella se dieron los antecedentes de genética que se explicarán posteriormente.

La intervención fue llevada a cabo por la autora de este trabajo y se realizaron tres postpruebas, una al día siguiente de la intervención, la segunda al mes y la tercera dos meses después de la intervención educativa. En la intervención se utilizaron numerosas ilustraciones y ejemplos.

## Intervención llevada a cabo en secundaria

(ambos grupos)

Tiempo 1 hr.

Tema II: "Historia de las ideas evolutivas"

Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)
1) Las ideas sobre el origen de la Tierra y la vida.	Ilustraciones sobre las ideas del origen de la vida en diferentes culturas.
2) Las interpretaciones antiguas sobre los fósiles.	Fósil de la cabeza de un mamut.
3) Explicación actual sobre los fósiles.	Ilustración del proceso de fosilización.
4) Las ideas de Cuvier.	Retrato de Cuvier y grabados que muestran catástrofes.
10) La explicación de Cuvier al íbis egipcio. La dificultad de saber la edad de la Tierra.	El íbis momificado y el actual.
11) La edad de la Tierra.	Símiles del tiempo geológico
12) La historia de la vida en la Tierra.	Ilustraciones de las Eras geológicas

## Intervención llevada a cabo en secundaria

(ambos grupos)

Tiempo 1 hr.

Tema III: "Las ideas de Lamarck"

Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)
13) Quién era Lamarck y lo que pensaba de la evolución.	Retrato de Lamarck
14) Los principales postulados de Lamarck:	Ejemplos de las aves enjauladas.
a) Herencia de los caracteres adquiridos.	Ejemplo de los caracoles.
b) Cambio por necesidad de los organismos.	Ejemplo de aves con patas largas.
c) Cambios promovidos por el ambiente.	Fotografías que muestran la implausibilidad de las explicaciones lamarckianas.
15. Algunas pruebas contrarias a las ideas anteriores. El experimento de Weissmann. Ejemplo de los brazos de los herreros	

Intervención llevada a cabo en secundaria  
(ambos grupos)

Tiempo 1 hr.

Tema IV: "Las ideas de Darwin"

Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)
16) Esbozo biográfico de Darwin	Retrato de Darwin
17) El viaje del Beagle	Mapa con el recorrido del viaje.
18) Las conclusiones a las que Darwin llegó después del viaje	Ejemplos de los fósiles que Darwin interpretó. Ejemplos de homologías. Ejemplo de los pinzones

Intervención llevada a cabo en secundaria  
(ambos grupos)

Tiempo 1 hr.

Tema V: "La selección natural"

Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)
19) La explicación de la evolución por selección natural.	Ilustración donde se muestra en una población de ratones el efecto de la selección natural.
20) Diferencias y semejanzas entre selección natural y artificial	Ejemplo de los cambios en el "perro salchicha" y las razas de perros.

Intervención llevada a cabo en secundaria  
(ambos grupos)

Tiempo 1 hr.

Tema VI: "Aplicación de la Teoría a problemas"

Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)
21) Los puntos complejos en la comprensión de la selección natural. a) Origen de la variación b) Variación c) Cambio en la proporción de individuos en la población	Ilustraciones para resolver problemas de cómo evoluciona una población de moscos sujeta al DDT Ilustración sobre la resistencia de las bacterias a los antibióticos.

**Intervención llevada a cabo en secundaria**  
(clase sin antecedentes de genética)

Tiempo 1 hr.	Tema "Evidencias de evolución"	
Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)	
1. Evidencias del cambio de los seres vivos en el tiempo. Los fósiles.	Donde que se muestran diferentes tipos de fósiles.	
2. Requisitos para la fosilización. Formación de fósiles.	Se ilustra la formación de un fósil. Ejemplos de homologías y analogías.	
3. El parentesco entre los seres vivos. Homologías y analogías.	Ilustraciones comparativas del desarrollo embrionario.	
4. Los parecidos entre embriones de vertebrados.	El ejemplo de <u>B. Betularia</u> .	
5. La evolución puede observarse. El ejemplo de <u>Biston betularia</u> .		

(A partir de aquí el grupo que recibió clase sin antecedentes de genética, continuó con los mismos temas que recibió el grupo que tuvo clase con antecedentes).

**Intervención llevada a cabo en secundaria**  
(clase sin antecedentes de genética)

Tiempo 1 hr.	Tema I: "Antecedentes para el tema de evolución"	
Desarrollo	Apoyo didáctico (acetatos)	
1. La constitución celular de los organismos pluricelulares. La organización de una célula.	Corte de célula animal. Corte del núcleo en donde se observan cromatina y cromosomas.	
2. Localización del núcleo celular, de la cromatina y cromosomas. Función del núcleo.	localización del ADN en los cromosomas e ilustración del código genético.	
3. El ADN, la información genética y el código genético. Las mutaciones.	Fotografía de la fecundación.	
4. Células somáticas y reproductoras. Recombinación sexual y meiosis (superficial).	Fotografías de personas famosas con sus hijos.	
*Recalcar que los cambios tienen que darse en las células reproductoras para que puedan ser transmitidos.		
Los hijos se parecen a sus padres pero no son idénticos. La variabilidad.		

b) La intervención en el CCH

— En el CCH Vallejo

En este nivel educativo se intervino de dos maneras, en el CCH Vallejo se aplicó durante 4 horas la metodología que a continuación se describirá, con el objeto de hacer un seguimiento del pensamiento de los estudiantes. Para lograrlo se aplicaron cuatro diferentes problemas evolutivos en cuatro diferentes tiempos de la intervención.

Las respuestas a estos problemas se agruparon en diferentes tipos y sus porcentajes se graficaron en las respuestas más comunes. En la sección XIII.3 se analizan estos resultados. El objeto de este ejercicio fue observar cómo cambiaban las ideas de los estudiantes siguiendo las etapas del modelo de cambio conceptual.

Los problemas se aplicaron:

- a) después de dar los antecedentes (problema de los peces ciegos de las cuevas)
- b) después de hablar del lamarckismo (problema de *Biston betularia*)
- c) después de hablar de darwinismo (nuevamente problema de los peces ciegos)
- d) hablar de los temas más discutidos de la evolución (problema de la resistencia a antibióticos)

— En el CCH Oriente

En el CCH Oriente se trabajó con una maestra durante dos meses (octubre y noviembre de 1997) a la que se le instruyó cómo dar las clases, a un grupo con la metodología que se describirá en seguida, y a otro grupo con uso de analogías. En ambos casos la instrucción se dio durante 4 sesiones de 2 horas cada una. Por otro lado, a otro grupo de esa misma escuela su propia maestra le dio clase del tema pero de manera tradicional. En este caso el tema de evolución se impartió en 8 sesiones de dos horas cada una. En los tres casos se hicieron prepruebas dos semanas antes de la intervención y postpruebas una semana después, y en el caso del grupo en que se trabajó con analogías se volvió a aplicar la postprueba un mes después.



## INTERVENCIÓN EDUCATIVA EN EL CCH - 0 (las analogías se utilizan sólo en un grupo)

Tiempo: 1 hora. Tema I: "Antecedentes"

Desarrollo	Apoyo didáctico (ac)	Ejemplo	Analogía	Etapa del modelo de c.c.
1. Composición celular de los seres vivos	Célula			
2. La información genética	El núcleo y el cromosoma			
3. La posición del ADN en los cromosomas	ADN y cromosoma			<b>PROBLEMA</b> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">1</span> ¿Por qué en las cuevas hay peces ciegos?
4. Cambios en la información genética	Mutaciones en ranas	ranas azules		
5. Variación por reproducción sexual	La fecundación			
6. Parecido y variaciones entre padres e hijos	Fotos padres e hijos	Padres famosos y sus hijos		
7. Definición de evolución				<b>OBSERVACION</b> <span style="float: right;">1</span>

Tiempo: 1 hora. Tema II: "La Historia de las ideas evolutivas"

Desarrollo	Apoyo didáctico	Ejemplo	Analogía	Etapa del modelo de c.c.
8. Evidencias de la evolución Fósiles Estructuras homólogas Desarrollo embrionario Órganos vestigiales	Fosilización Órganos homólogos Fetos diferentes Apéndice, músculos, orejas	patas de vertebrados <u>Biston betularia</u>	"evolución del corvette"	<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">1</span>
9. Ideas acerca del origen y diversidad de los seres vivos	Grabados sobre explicaciones del origen			
10. Primeras explicaciones a los fósiles	Mamut fosilizado			
11. El descubrimiento del ornitorrinco y su explicación	Modelo de monotrema			
12. El catastrofismo Las ideas de Cuvier	Retrato de Cuvier Ibis momificado			Inicio conflicto conceptual
13. La edad de la Tierra	Reloj Sagan		<span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; padding: 2px;">2</span> La historia de la Tierra en 10 volúmenes	

Tiempo: 1 hora. Tema III: "Las ideas de Lamarck"

Desarrollo	Apoyos (acetatos)	Ejemplos	Analogías	Etapas del modelo de c.c.
14. Lo que Lamarck opinaba de la evolución	Retrato Lamarck			
15. La herencia de los caracteres adquiridos El uso y desuso El papel del ambiente	Los brazos de los herreros Avances de patas largas	las antenas de los caracoles el crecimiento de las patas de aves acuáticas		
16. Los cambios sólo se transmiten si ocurren en las células reproductoras	Pescador sin piernas	pescador mutilado y sus hijas		CONFLICTO CONCEPTUAL
17. El experimento de Weissmann				Análisis de implausibilidad
18. Explicación del ejemplo de <u>Biston betularia</u>	Solución de un problema		3 Los genes y las recetas (Dawkins) (caracteres adquiridos)	OBSERVACIÓN 2 Discusión en la que se muestra que no hay elementos para explicar el PROBLEMA <u>Biston betularia</u> 2 OBSERVACIÓN 3

Tiempo: 1 hora. Tema IV: "Desarrollo de las ideas de Darwin"

Desarrollo	Apoyos	Ejemplos	Analogía	Etapas del modelo de c.c.
19. El entorno social de Darwin	Retrato de Darwin			
20. El viaje del Beagle	Mapa del recorrido			
21. Observaciones de Darwin que le llevaron a postular su teoría:	las islas los fósiles	los pinzones <u>Macrauchenia</u>		
- Los organismos tienen abundante progenie pero no todos sobreviven	Elefantes	vástagos de elefantes		Búsqueda de la inteligibilidad
- Los hijos se asemejan a sus padres pero no son idénticos	Variaciones en ganado vacuno	variación en becerros		
- Aún entre individuos más parecidos hay variación. Hoy sabemos que esto se debe a mutaciones y recombinación sexual	fotos variaciones			INTELIGIBILIDAD PROBLEMA 3 Los peces ciegos
22. El resumen de Murr de hechos y conclusiones	Resumen escrito	evolución en una población de ratones		Explicación de la presencia de peces ciegos en cuevas OBSERVACION 4

### XIII. RESULTADOS

#### XIII.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DEL EXAMEN

De acuerdo a lo mencionado en el apartado X.5, el examen aplicado consta de tres partes. En la primera, se analiza el conocimiento de los tres puntos más conflictivos y básicos para comprender la teoría de la evolución, el uso del concepto de variación, el origen de esta variación y la consideración de la evolución como la suma del cambio en proporciones de ciertos genotipos en una población, donde primero se origina y mantiene la variación en algunos individuos en los que si mejora su adaptación y a la vez aumenta su adecuación, la población tenderá a un número cada vez mayor de individuos modificados, hasta que el nuevo carácter se fije.

En esta primera parte, las respuestas a escoger muestran al alumno la concepción alternativa más común para cada concepto. En las dos preguntas sobre el origen de la variación se habla en la respuesta incorrecta, de la variación como necesidad y de la variación determinada por el ambiente. La respuestas correctas se refieren al origen casual de la variación y a las mutaciones.

En las preguntas sobre el manejo del concepto de variación, las respuestas incorrectas lo ignoran y en cambio mencionan el desarrollo gradual de un cambio. Las respuestas correctas se refieren a que los individuos con cierta variación son los que sobreviven, o bien, a las diferencias en éxito reproductivo.

En el tercer par de preguntas, las opciones erróneas se refieren al uso y desuso de los órganos, y las correctas al cambio de proporciones de ciertas características en la población y a la tendencia a parecerse a los padres.

En los problemas de la segunda parte se dan diferentes respuestas, desde la de uso y desuso o cambios a voluntad, hasta las teleológicas y ortogenéticas, así como las respuestas de acuerdo a la teoría darwiniana.

La tercera parte del examen que, como ya se ha dicho, contiene diez preguntas del tipo “doble-elección, respuesta-razón”, trata diferentes concepciones alternativas. A continuación se describen las respuestas erróneas y correctas para cada pregunta:

ERRORES	RESPUESTAS CORRECTAS
<b>PREGUNTA 1</b>	<b>PREGUNTA 1</b>
P: Toda la población cambia	P: Cambio en la proporción de una característica
E: Por uso	E: Porque se seleccionó un cambio heredable
E: Por necesidad	
<b>PREGUNTA 2</b>	<b>PREGUNTA 2</b>
P: El cambio es gradual y en todos los individuos	P: Algunos organismos sobreviven y otros mueren
E: Cambio gradual hacia un objetivo	E: Sobreviven los que tienen la variación adecuada
E: Cambio simultáneo en todos los organismos	

PREGUNTA 3	PREGUNTA 3
P: Cambio por necesidad	P: Cambio en las proporciones de organismos con una característica
E: Para adaptarse	E: Debido a que los que la tenían sobrevivieron
E: Por deseo del organismo	
PREGUNTA 4	PREGUNTA 4
P: Cambio gradual y total en toda la población	P: Variación en cada generación
E: Por necesidad	E: Porque los que sobreviven se reproducen
E: A pedido del ambiente	
PREGUNTA 5	PREGUNTA 5
P: Cambio gradual general	P: Cambio en las proporciones
E: Para adaptarse al ambiente	E: Porque sobreviven los que tienen cierta variación
E: Por necesidad de sobrevivir	
PREGUNTA 6	PREGUNTA 6
P: Cambio gradual rápido	P: Aumento de las proporciones de cierta característica
E: Por uso y desuso	E: Porque primero hubieron cambios debidos a mutaciones
E: Por necesidad	
PREGUNTA 7	PREGUNTA 7
P: Cambio gradual general	P: Hay supervivencia diferencial
E: Por necesidad	E: Porque sobreviven los individuos que tienen cierta variación
E: Causado por el ambiente	
PREGUNTA 8	PREGUNTA 8
P: Adaptación gradual de los organismos	P: Hay supervivencia diferencial
E: Hay cambios por necesidad	E: Porque sobreviven los individuos con cierta variación
E: Hay una necesidad interna por cambiar(Esta pregunta no tuvo FC)	
PREGUNTA 9	PREGUNTA 9
P: Cambios por necesidad	P: Cambio en la proporción de ciertos individuos
E: Por herencia de una mejoría	E: Porque algunos se reprodujeron más
E: Por necesidad (Esta es la pregunta peor contestada)	
PREGUNTA 10	PREGUNTA 10
P: Cambios por uso y desuso	P: Cambio en las proporciones de ciertos individuos
E: Para adaptarse	E: Porque sobreviven y se reproducen los que tienen cierta característica
E: Por voluntad	

## RESULTADOS DE ANÁLISIS CONCEPTUAL POR PREGUNTAS Y ESCUELAS EN PREPRUEBAS

Escuela	Tipo de concepción			
	CD Concepción Darwiniana	CA Concepción Alternativa	FC Falta de Conocimiento	CI Conocimiento incompleto
Secundaria	2	1	4,9	3,6
ENP	8	1	9	3
Preparatoria Privada	10	1	4,9	3
CCH	8	1	4	3
Universidad Privada	2	1	9	3
UNAM 1er. ing. mat.	8	1	3	4
UNAM 1er. ing. vesp.	5	1	4,9	3
UNAM últimos sem.	5	1,2,9	4,9	3, 4 y 9
Evolución opt. y art.	1,2,3,5,6,10	8	Ninguna	4,9
Evolución opt. y clase	2	8	5,9	3,6
TOTAL (dos preguntas más comunes)	2,5	1,8	4,9	3,4

Nota: los números corresponden a cada pregunta de la tercera parte del examen.

Por ej. En las prepruebas, la pregunta 1 (uno) suele tener una concepción alternativa

## RESULTADOS DE ANÁLISIS CONCEPTUAL POR PREGUNTAS Y ESCUELAS EN POSTPRUEBAS

Escuela	Tipo de concepción			
	CD	CA	FC	CI
Secundaria (con antec.)	2,5,7	9	4	5
Secundaria (sin antec.)	5	1	4,9	4
CCH tradicional	2,8	1	4	2
CCH sin analogías	8	3	9	3
CCH con analogías	1,2,5,7,9	9	4	6,8
TOTAL (2 preguntas más comunes)	2,5	1,9	4,9	-

Dado que las preguntas de la parte C tienen como objetivo realizar el análisis conceptual, es decir determinar el tipo de concepciones de los estudiantes, es importante notar que las formas en que por ejemplo se presentaron las concepciones disfuncionales (FC) son aquellas en las que se elige la (P) en la columna de errores con sus dos posibles combinaciones que son cualquiera de las explicaciones incorrectas (E). (Ver el listado de errores y respuestas correctas que aparecen dos páginas atrás).

En el caso de las concepciones darwinianas (CD) en cambio, basta con ver las combinaciones P y E de la columna de respuestas correctas.

Las concepciones alternativas funcionales (CA), ocurrieron de la siguiente manera: al escoger la P de las respuestas correctas pero cualquiera de las dos E de las respuestas erróneas. En cambio para el conocimiento incompleto (CI), el alumno tendría que escoger la respuesta P errónea de la columna de errores y la explicación correcta de la columna E de las respuestas correctas.

Por ejemplo, para la primera pregunta una concepción alternativa estaría formulada como sigue:

P: Hay un cambio en la proporción de cierta característica en la población}

E: Porque hay un cambio gradual de esa característica (incongruente)

E: Porque todos los individuos de la población cambian por igual (incongruente)

La concepción darwiniana (CD) diría que hay un cambio en la proporción de cierta característica en la población porque se seleccionó un cambio heredable.

Por otro lado, un conocimiento incompleto (CI) diría que:

P: Hay un cambio gradual en todos los individuos de la población (errónea)

E: Porque se seleccionó un cambio heredable. (Es decir, el estudiante tiene el conocimiento a medias.)

### XIII.2 VALIDACIÓN DEL EXAMEN APLICADO.

Dado que la validación del contenido de un examen a partir de la medición de su exactitud es un método muy cuestionado para los exámenes de evaluación del conocimiento científico, en este trabajo se empleó una medición alternativa llamada validación de las preguntas que fue desarrollada por Yaroch (1991). Este método permite la evaluación cuantitativa de las respuestas correctas por las razones correctas, de las respuestas correctas por razones incorrectas, de las respuestas incorrectas por las razones correctas y finalmente de las respuestas incorrectas por las razones incorrectas. De todas estas respuestas, Yaroch propone el cálculo del llamado coeficiente de validación de las preguntas que equivale al porcentaje de respuestas correctas por la razón correcta más las respuestas incorrectas por la razón correcta:

$$C_{iv} = (\% \text{correctas por la razón correcta}) + (\% \text{incorrectas por la razón correcta})$$

Cuando este índice es muy cercano a uno, se puede decir que las preguntas miden el conocimiento real del estudiante; cuando es mayor o menor que uno, se puede pensar en una sub o sobrevaluación.

Para obtener este índice, conviene comparar los resultados de las pruebas contra entrevistas personales a los estudiantes, con objeto de corroborar si sus respuestas son acertadas por verdadero conocimiento.

A manera de comparación, se obtuvo primero el coeficiente de validación para las preguntas 3 y 4 del examen, que fueron las que casi todos los alumnos del último semestre de la carrera contestan bien, y la número 9 que casi todos contestan erróneamente (ver la Fig. 2). Como puede notarse en la Fig. 3 los coeficientes para las preguntas 3 y 4 son iguales a 1, mientras que el coeficiente de la pregunta 9 tiene un coeficiente de 80%, lo que puede estar hablando de una pregunta mal planteada. Al entrevistar a siete estudiantes sobre la manera de responder a esta pregunta pudo notarse que hay una dificultad en comprender la pregunta en la forma en que está planteada.

Al calcular el coeficiente de validación para un grupo del CCH, se encontraron índices mucho menores que uno (ver Fig. 4), lo que podría mostrar que las preguntas del examen no eran adecuadas para los estudiantes de esa escuela, o bien que carecían de elementos para responderlas. Al entrevistar a 12 estudiantes para corroborar las razones de sus respuestas, se encontró que en el 83% de los casos las contestaron al azar, es decir que ni siquiera comprendían lo que se les estaba preguntando.

En principio esto hubiera implicado desarrollar un examen adecuado para este nivel educativo, pero dado que el objetivo de este trabajo era comparar el conocimiento de la evolución por selección natural entre diversos niveles educativos, se optó por dejar el mismo examen para todos los niveles.

En el CCH también se obtuvo el coeficiente para la pregunta 9, que es en la que casi todos los estudiantes se equivocan. Al analizar las respuestas mediante entrevistas con los estudiantes se encuentra que se trata realmente de una pregunta difícil ya que entre las explicaciones se incluyó una que parece lógica pero que es incorrecta. Cabe mencionar que esta es la pregunta que arroja en todos los niveles escolares la mayor cantidad de concepciones no funcionales o de falta de conocimiento (FC).

## UNAM biología/último semestre

(distribución porcentual de las respuestas a las preguntas)

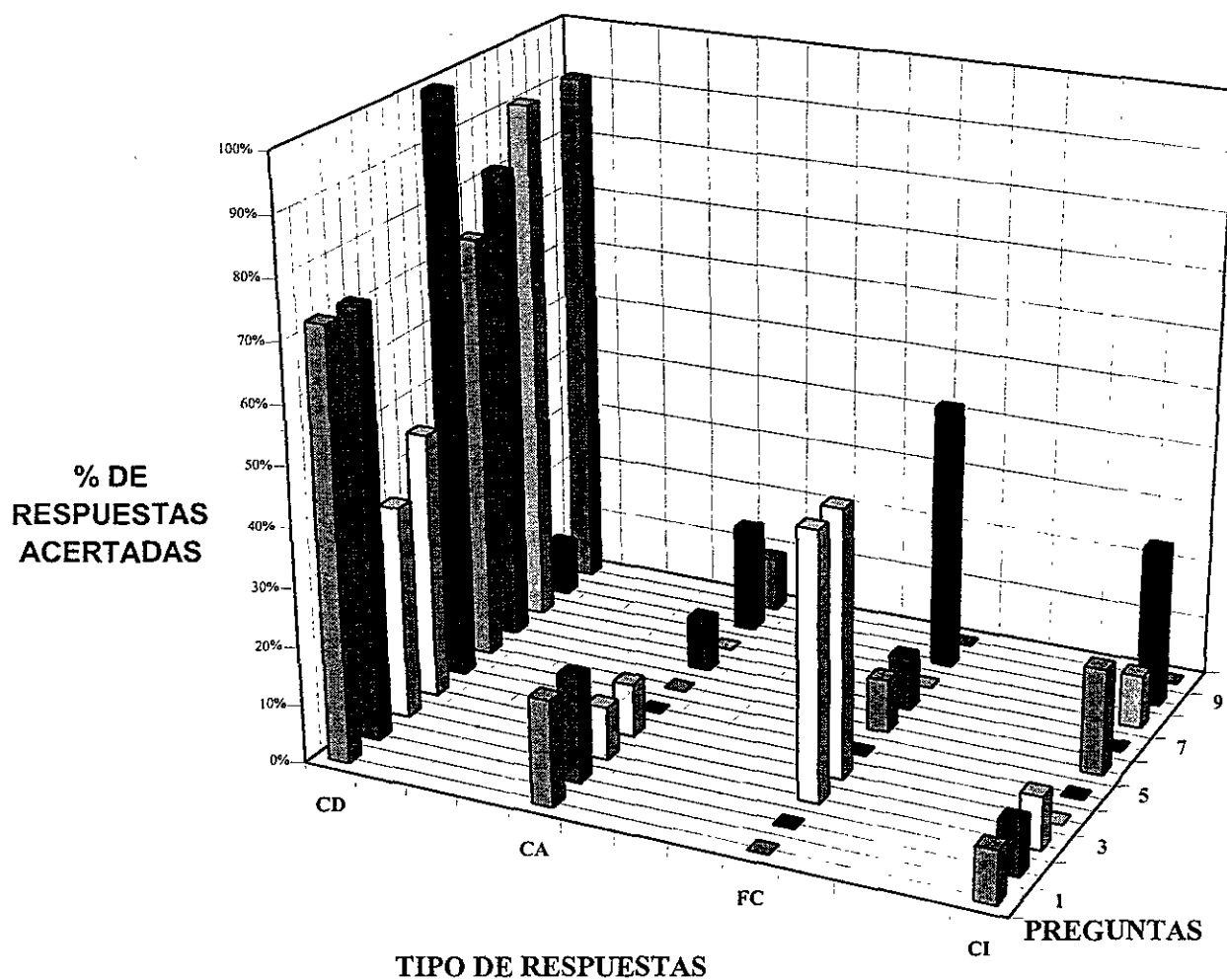
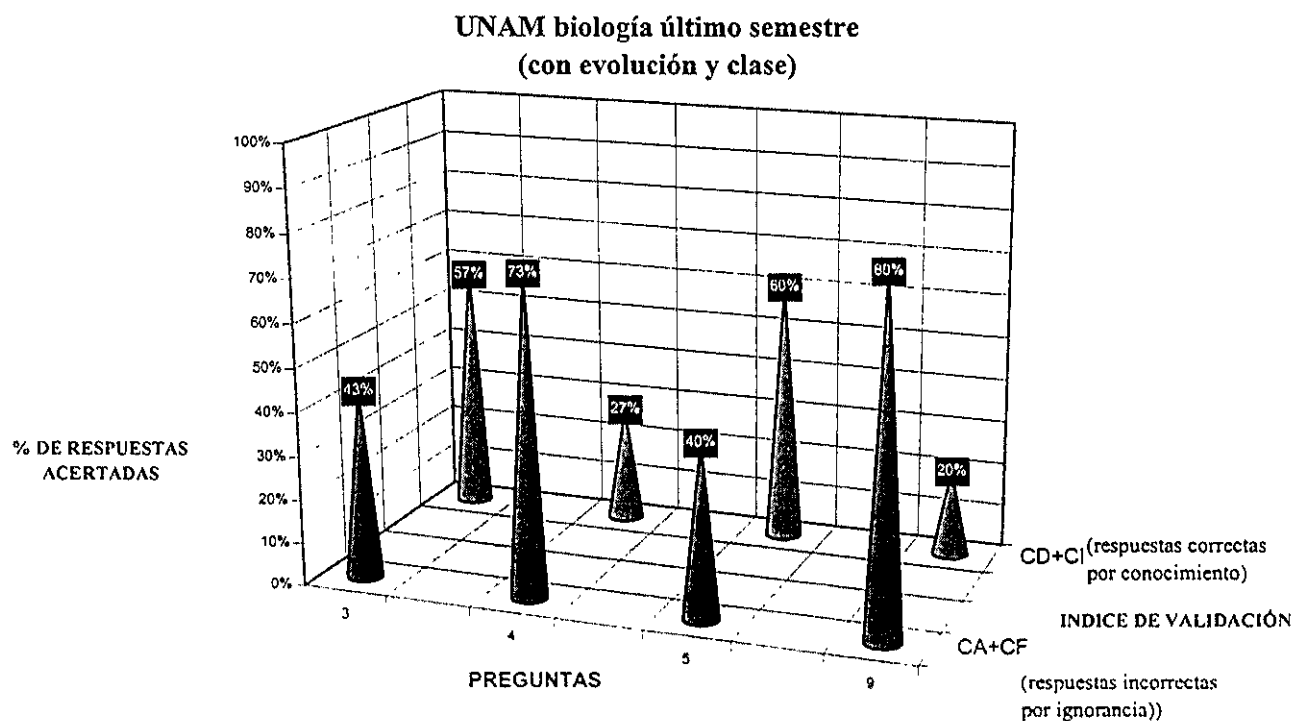
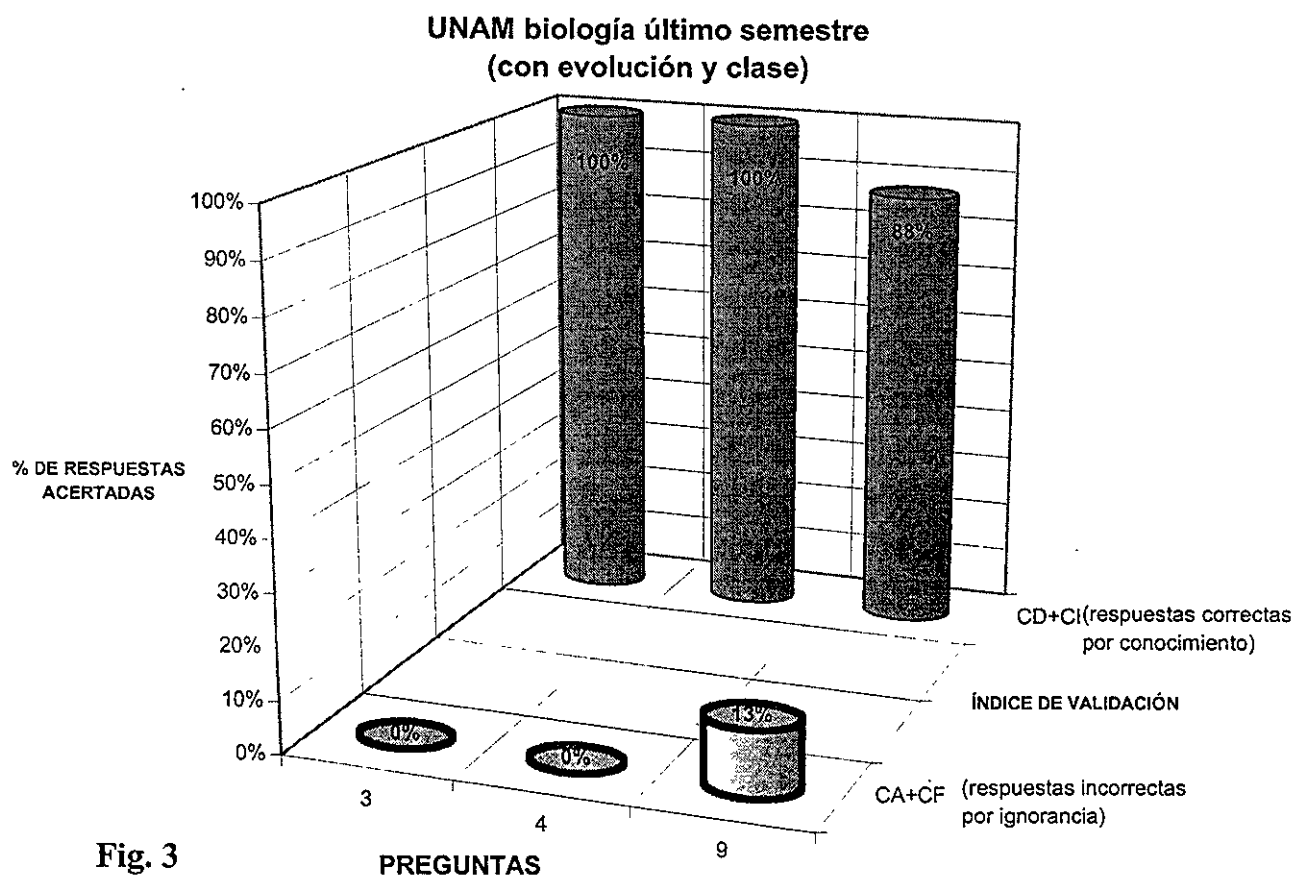


Fig. 2





### XIII.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS DURANTE LAS CLASES.

Los resultados que se muestran en la tabla 1 indican la manera en que fue cambiando el pensamiento de los estudiantes del sexto semestre del CCH en el transcurso de las ocho horas en las que se les fue explicando la teoría de la evolución por selección natural. Estos resultados fueron obtenidos de preguntas que se hicieron por escrito y de entrevistas personales.

Los resultados de estas indagaciones se muestran gráficamente en las figuras 5 y 6.

Estos datos se refieren a los porcentajes de respuestas más comunes en la solución de problemas evolutivos diversos; por ejemplo, el primero cuestiona cómo puede explicarse la presencia de peces ciegos en cuevas, el segundo se refiere al cambio de coloración en las poblaciones de *Biston betularia*, el tercero trata nuevamente a los peces ciegos y el cuarto la explicación de la resistencia microbiana a los antibióticos. La diferencia en la aplicación de los cuatro problemas está, además de en su temática, en los tiempos de la intervención educativa en donde fueron aplicados. El primer problema se aplicó después de haber dado a los estudiantes explicaciones básicas sobre genética, el segundo después de haber explicado diferentes visiones de la evolución, especialmente la de Lamarck, el tercero después de haber enseñado las aportaciones de Darwin sobre la evolución por selección natural, y el cuarto, después de haber discutido problemas sobre si la selección natural se da al azar, si la evolución tiene un fin, etc. (A esta cuarta parte se le ha llamado en las gráficas “tendencias actuales”).

Además de los resultados obtenidos de las respuestas por escrito a los problemas, se hicieron cinco observaciones continuas sobre la forma en que los estudiantes iban opinando acerca del tema. Estas observaciones consistieron en plantear preguntas al grupo completo y entrevistar hasta a 10 estudiantes por separado para que explicaran sus respuestas escritas a los problemas. Esta metodología permite percatarse de los temas que aunque aparentemente están correctamente contestados en el examen, todavía están dudosos en las explicaciones orales.

Los porcentajes mostrados en la tabla 1 y en las gráficas 5 y 6 se obtuvieron a partir de las respuestas más comunes a los problemas, aunque corroboradas con las explicaciones verbales. En caso de haber duda, se aclaraba cada respuesta personalmente con el estudiante en cuestión.

Las observaciones se llevaron a cabo de la siguiente manera:

- a) después del primer problema
- b) antes de aplicar el segundo problema
- c) después del segundo problema
- d) después del tercer problema
- e) después del último problema

Se reportan respuestas dobles cuando éstas son igualmente frecuentes para resolver el mismo problema. La última columna de la tabla 1 se refiere a la definición que los alumnos llegan a hacer del concepto de evolución después de la octava hora de trabajo. En este caso se dividieron las respuestas en tres rubros para indicar con mayor detalle el manejo del concepto de evolución (en el manejo del concepto de población, de cambio en las proporciones de los individuos y del tiempo que toma el proceso evolutivo).

tabla 1

## RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES DEL CCH A DIFERENTES TIEMPOS DE INTERVENCIÓN

Total de respuestas	Por necesidad	Para adaptarse	Mutación y reproducción sexual	Variación	Selección natural y Adaptación biológica	Supervivencia y extinción	Evolución: población proporción tiempo	
<b>GRUPO SIN ANALOGÍAS</b>								
20	43.10%	35.10%	5.00% 4.00%	0.00%	1.00% 0.00%	0.00% 0.00%	0.00% 0.00% 0.00%	<i>PRIMERA INTERVENCIÓN</i> <i>(antecedentes)</i>
31	19.30%	25.00%	12.90% 9.60%	22.50%	0.00% 0.00%	6.40% 0.00%	0.00% 0.00% 3.20%	<i>SEGUNDA INTERVENCIÓN</i> <i>(lamarkismo)</i>
31	8.90%	13.20%	6.40% 3.20%	32.20%	16.10% 16.10%	3.20% 0.00%	0.00% 0.00% 0.00%	<i>TERCERA INTERVENCIÓN</i> <i>(darwinismo)</i>
63	3.17%	3.10%	7.60% 4.30%	13.30%	13.00% 12.60%	3.10% 3.10%	9.50% 11.10% 7.90%	<i>CUARTA INTERVENCIÓN</i> <i>(tendencias actuales)</i>
<b>GRUPO CON ANALOGÍAS</b>								
35	40.00%	31.00%	14.20% 0.00%	8.50%	5.70% 0.00%	0.00% 0.00%	0.00% 0.00% 2.80%	<i>PRIMERA INTERVENCIÓN</i> <i>(antecedentes)</i>
36	8.30%	16.60%	11.10% 0.00%	22.20%	5.50% 0.00%	13.80% 0.00%	0.00% 0.00% 8.30%	<i>SEGUNDA INTERVENCIÓN</i> <i>(lamarkismo)</i>
49	0.00%	4.00%	14.20% 10.20%	22.40%	12.20% 16.30%	6.10% 0.00%	0.00% 0.00% 6.10%	<i>TERCERA INTERVENCIÓN</i> <i>(darwinismo)</i>
87	1.10%	1.10%	9.90% 6.40%	21.40%	9.10% 13.70%	9.10% 1.10%	5.70% 6.80% 13.70%	<i>CUARTA INTERVENCIÓN</i> <i>(tendencias actuales)</i>

### XIII.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO DE LAS RESPUESTAS DE LOS ALUMNOS DURANTE LAS CLASES.

Los resultados que se muestran en la tabla 1 indican la manera en que fue cambiando el pensamiento de los estudiantes del sexto semestre del CCH en el transcurso de las ocho horas en las que se les fue explicando la teoría de la evolución por selección natural. Estos resultados fueron obtenidos de preguntas que se hicieron por escrito y de entrevistas personales.

Los resultados de estas indagaciones se muestran gráficamente en las figuras 5 y 6.

Estos datos se refieren a los porcentajes de respuestas más comunes en la solución de problemas evolutivos diversos; por ejemplo, el primero cuestiona cómo puede explicarse la presencia de peces ciegos en cuevas, el segundo se refiere al cambio de coloración en las poblaciones de *Biston betularia*, el tercero trata nuevamente a los peces ciegos y el cuarto la explicación de la resistencia microbiana a los antibióticos. La diferencia en la aplicación de los cuatro problemas está, además de en su temática, en los tiempos de la intervención educativa en donde fueron aplicados. El primer problema se aplicó después de haber dado a los estudiantes explicaciones básicas sobre genética, el segundo después de haber explicado diferentes visiones de la evolución, especialmente la de Lamarck, el tercero después de haber enseñado las aportaciones de Darwin sobre la evolución por selección natural, y el cuarto, después de haber discutido problemas sobre si la selección natural se da al azar, si la evolución tiene un fin, etc. (A esta cuarta parte se le ha llamado en las gráficas "tendencias actuales").

Además de los resultados obtenidos de las respuestas por escrito a los problemas, se hicieron cinco observaciones continuas sobre la forma en que los estudiantes iban opinando acerca del tema. Estas observaciones consistieron en plantear preguntas al grupo completo y entrevistar hasta a 10 estudiantes por separado para que explicaran sus respuestas escritas a los problemas. Esta metodología permite percatarse de los temas que aunque aparentemente están correctamente contestados en el examen, todavía están dudosos en las explicaciones orales.

Los porcentajes mostrados en la tabla 1 y en las gráficas 5 y 6 se obtuvieron a partir de las respuestas más comunes a los problemas, aunque corroboradas con las explicaciones verbales. En caso de haber duda, se aclaraba cada respuesta personalmente con el estudiante en cuestión.

Las observaciones se llevaron a cabo de la siguiente manera:

- a) después del primer problema
- b) antes de aplicar el segundo problema
- c) después del segundo problema
- d) después del tercer problema
- e) después del último problema

RESPUESTAS DE LOS ESTUDIANTES A DIFERENTES TIEMPOS (GRUPO CON ANALOGÍAS)

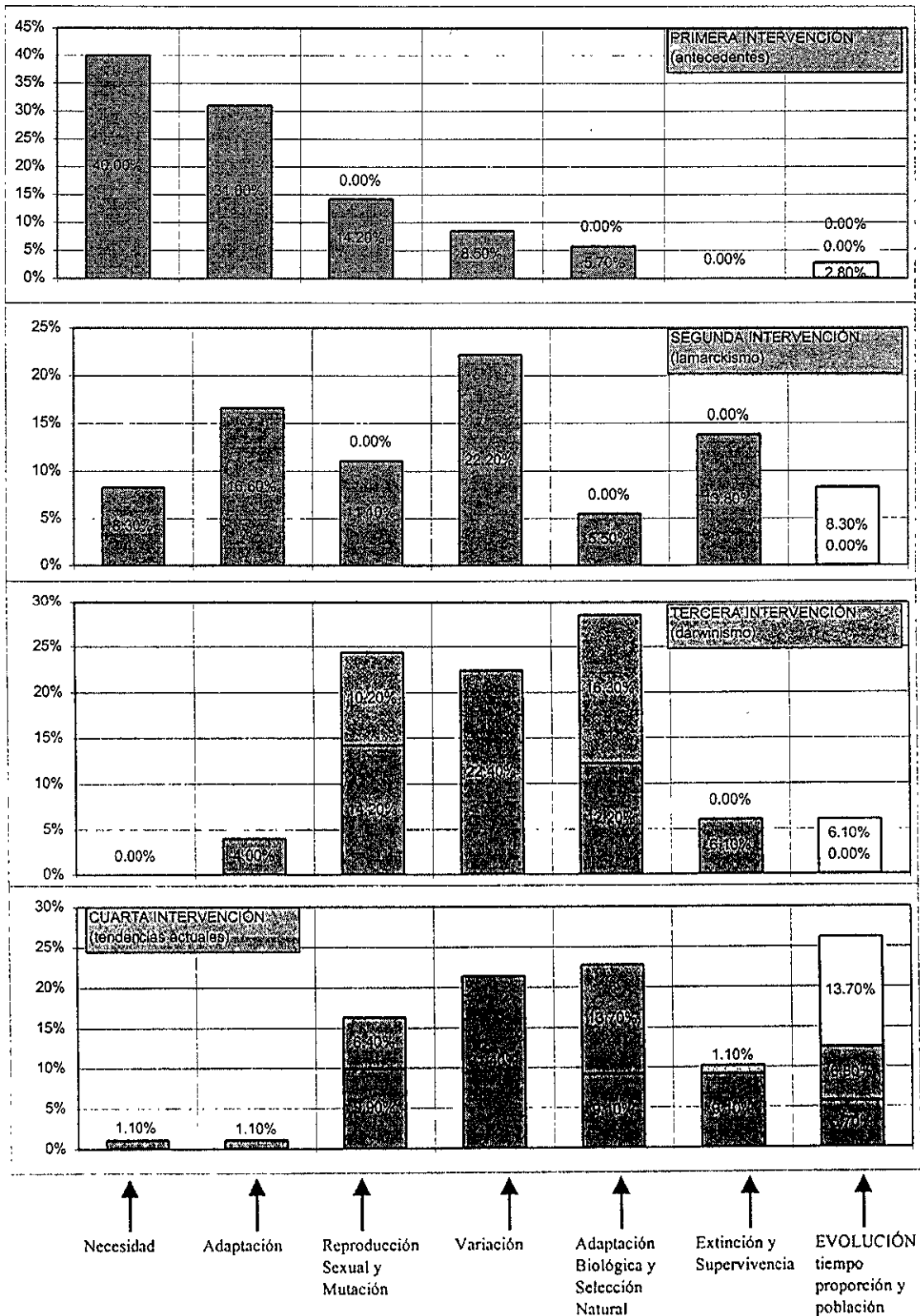


Fig. 6

### XIII.4 RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS DE LOS EXÁMENES.

En la Figura 7 puede verse que el promedio de resultados sobre el conocimiento de evolución para todas las escuelas es de 3.77 y que la secundaria, la ENP y la preparatoria privada ni siquiera alcanzan dicho promedio. Realmente hay un cambio en el promedio hasta el último semestre de la carrera de biología (promedio de 6.46) y un promedio máximo de 9.35 para el último semestre de la carrera que llevó la materia optativa de evolución.

La Figura 8 es la comparación del conocimiento promedio del concepto de evolución en prepruebas y postpruebas en diferentes niveles educativos. Aquí se observa que al utilizar los métodos de enseñanza propuestos en la tesis, se logra un promedio de 7.86 en la secundaria cuando se impartió la clase dando antecedentes de genética, y de 6.60 sin antecedentes de genética también en la secundaria. En el CCH al impartir la clase con el método propuesto pero sin analogías, el promedio fue de 6.84 (resultado que corresponde al promedio de 6.46 del último semestre de la carrera pero que no había cursado evolución).

Los promedios más altos se obtuvieron en las postpruebas para el caso de la secundaria con antecedentes (7.86) y del CCH con analogías (7.59).

La Figura 9 muestra cómo respondieron todas las escuelas las tres partes del examen.

En relación con el manejo de los conceptos básicos (mutación y recombinación (N), variación (V) y evolución (P)) en conjunto se encuentra que los valores más bajos corresponden a las prepruebas, salvo en la facultad, donde se obtuvieron los promedios más altos. Del manejo general de los tres conceptos (N V, P), los valores más altos se encuentran en el último semestre de la facultad (8.42), en la postprueba del CCH cuando se usaron analogías (7.02) y en la postprueba de la secundaria cuando se dio clase con antecedentes de genética. El siguiente valor más alto lo alcanza el CCH en postprueba al recibir clase sin analogías pero con el método propuesto (6.25), valor que rebasa los obtenidos en el último semestre de la carrera de biología (Fig. 9a).

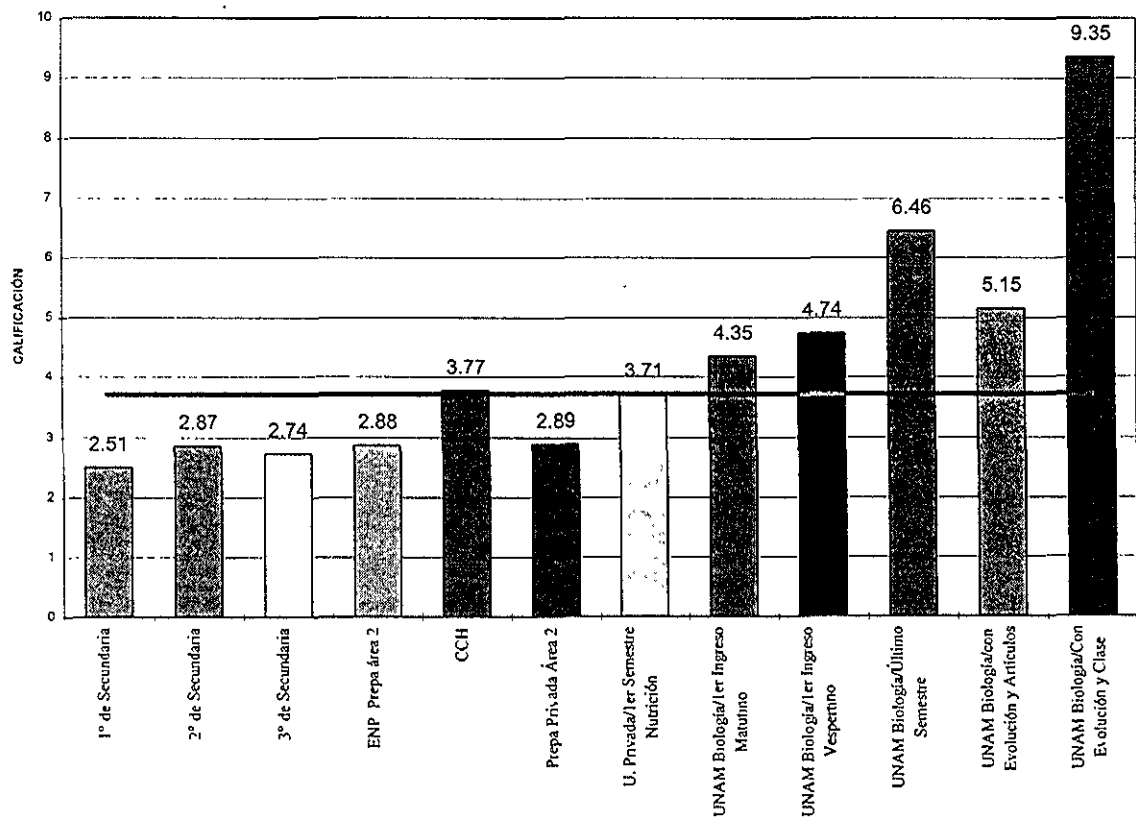
Al desglosar los componentes de la primera parte del examen se encuentra que el manejo del concepto de evolución tiene el promedio más alto (5.47). En las postpruebas se observa un mejor manejo de los tres conceptos, pero en el último semestre de la facultad con alumnos que cursaron evolución, el concepto de variación no es manejado correctamente por todos los estudiantes (7.50), y llama la atención que es el concepto que peor manejaron los estudiantes de biología que llevaron clase por lectura de artículos (4.33).

En la segunda parte del examen se analizó la manera en la que se solucionaban dos problemas, el primero acerca de la velocidad que alcanzan los chitas al perseguir a sus presas, y el segundo sobre la resistencia de bacterias a los antibióticos (Fig. 9b).

Se encontró que el segundo problema es el que en general se resuelve peor (promedio de 2.23 vs promedio de 4 en el primer problema).

Los grupos que peor contestan ambos problemas son las cuatro escuelas de nivel medio superior y la secundaria. Incluso el segundo problema no es resuelto correctamente por ningún alumno de la preparatoria privada.

Con las metodologías empleadas se obtienen mejores resultados en las postpruebas, los que incluso superan a los resultados obtenidos por los estudiantes de último semestre de biología pero que no cursaron evolución. En ambos problemas el último semestre con evolución contestó siempre correctamente ambos problemas



Calificación media del conocimiento sobre evolución, para todos los niveles escolares de prepruebas (de 0 a 10)

Figura 7

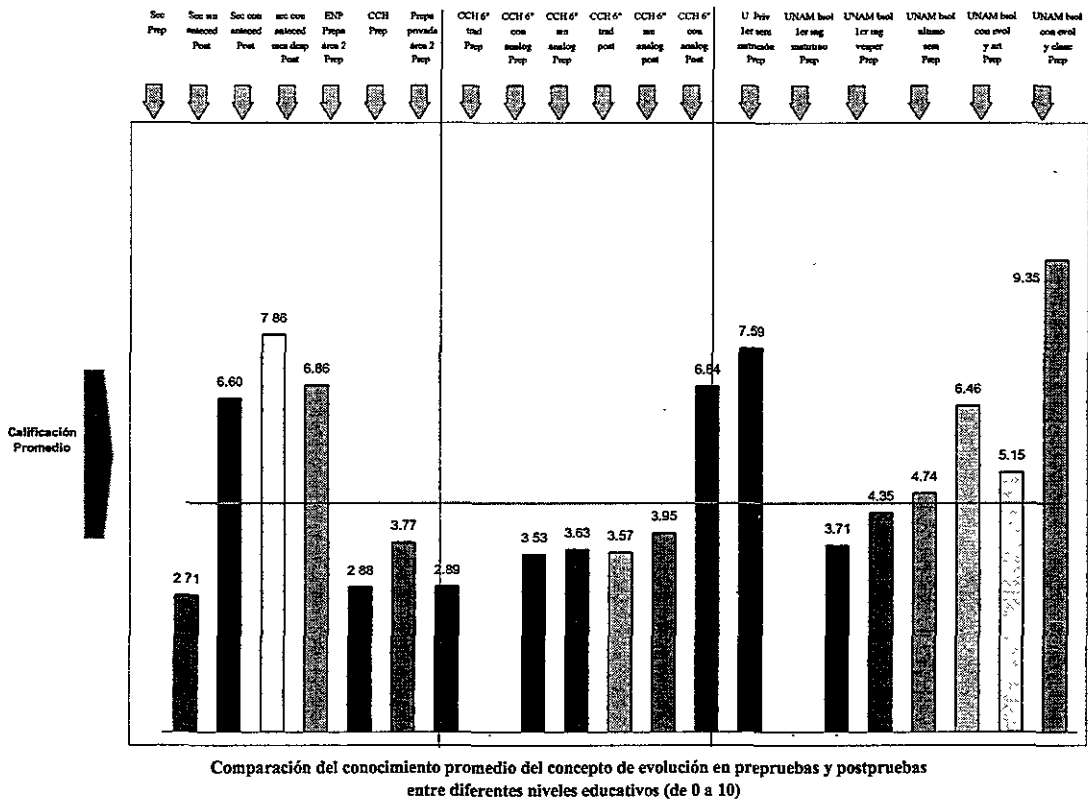


Figura 8

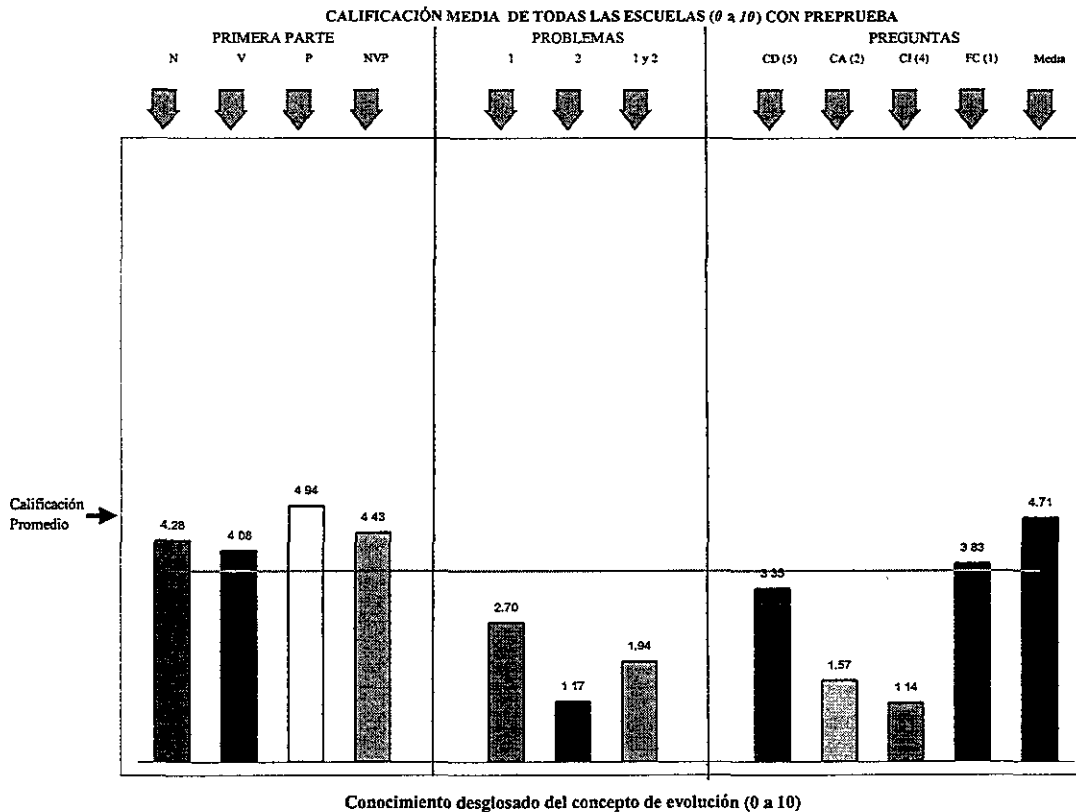
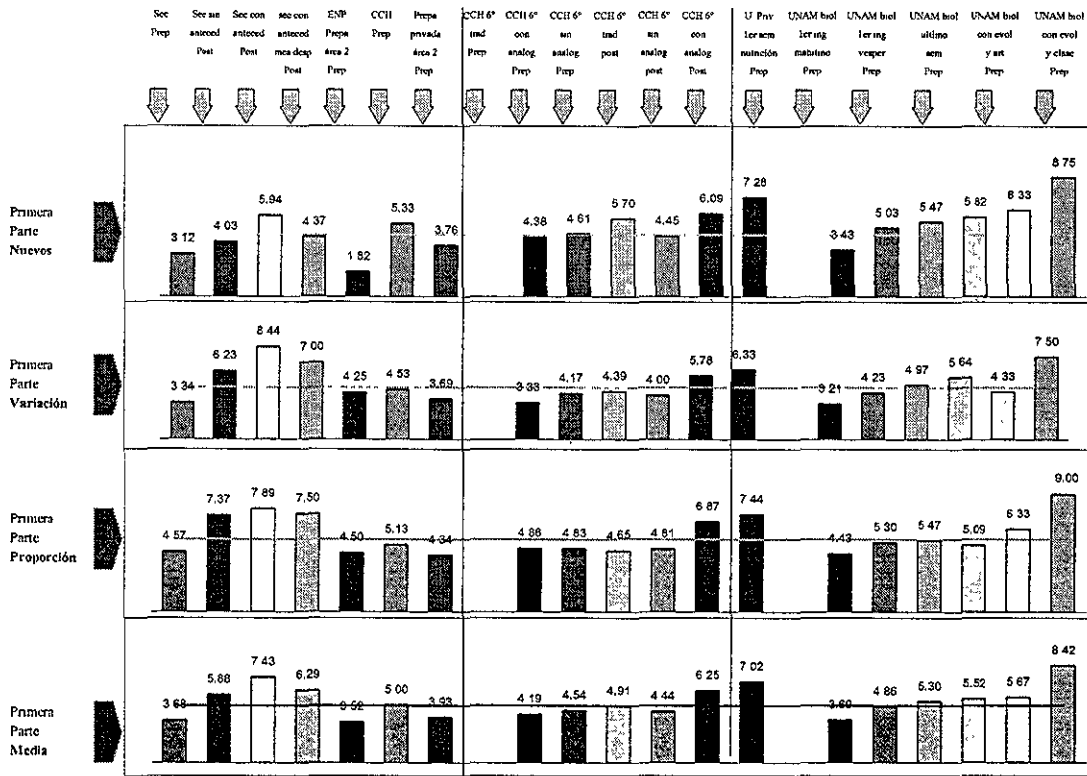


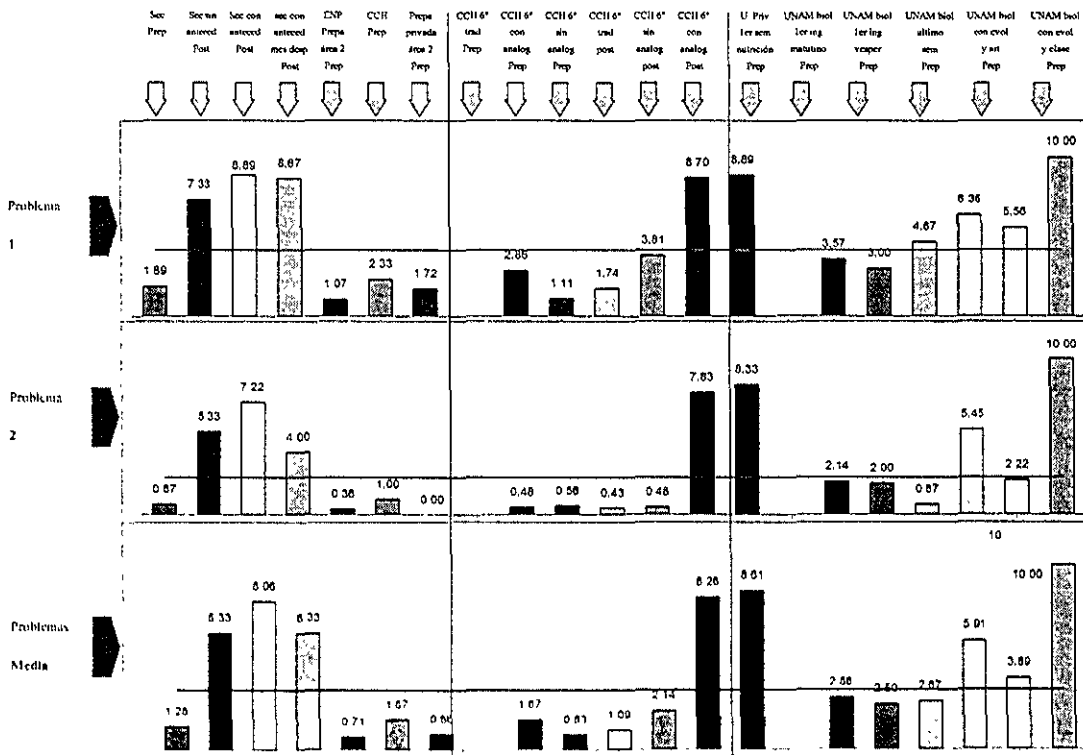
Figura 9





Comparación del manejo de los conceptos: nuevos, variación y proporción en diferentes niveles escolares (de 0 a 10)

Figura 9a



Comparación en la forma de resolver dos problemas evolutivos en diferentes niveles escolares (de 0 a 10)

Figura 9b

En esta serie de Figuras 10 se hace la comparación más detallada de las respuestas del examen en porcentajes pero por niveles educativos.

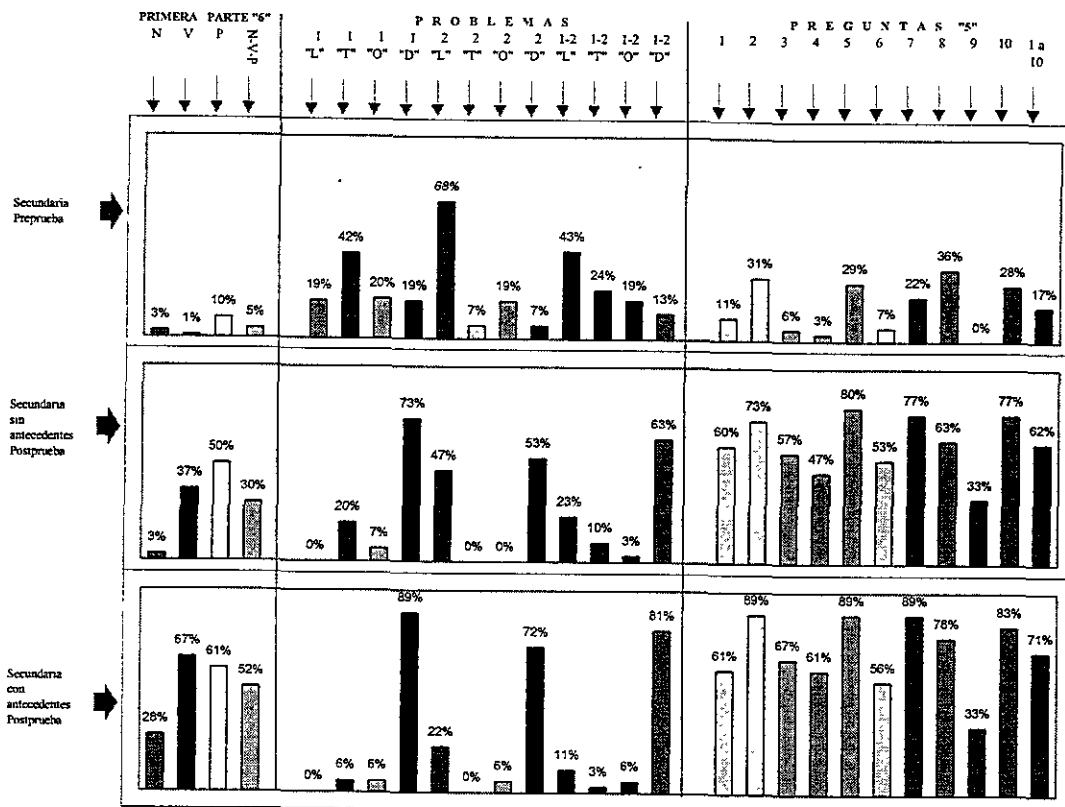
Aquí puede verse la comparación de la secundaria entre prepruebas y postpruebas.

En el caso de los conceptos básicos (primera parte), hay una gran ganancia en el concepto de variación en las postpruebas, siendo que en las prepruebas era el concepto peor manejado.

En los problemas se nota un gran aumento de respuestas darwinianas en las postpruebas, y una reducción total de pensamiento lamarckiano en el problema uno pero no en el dos.

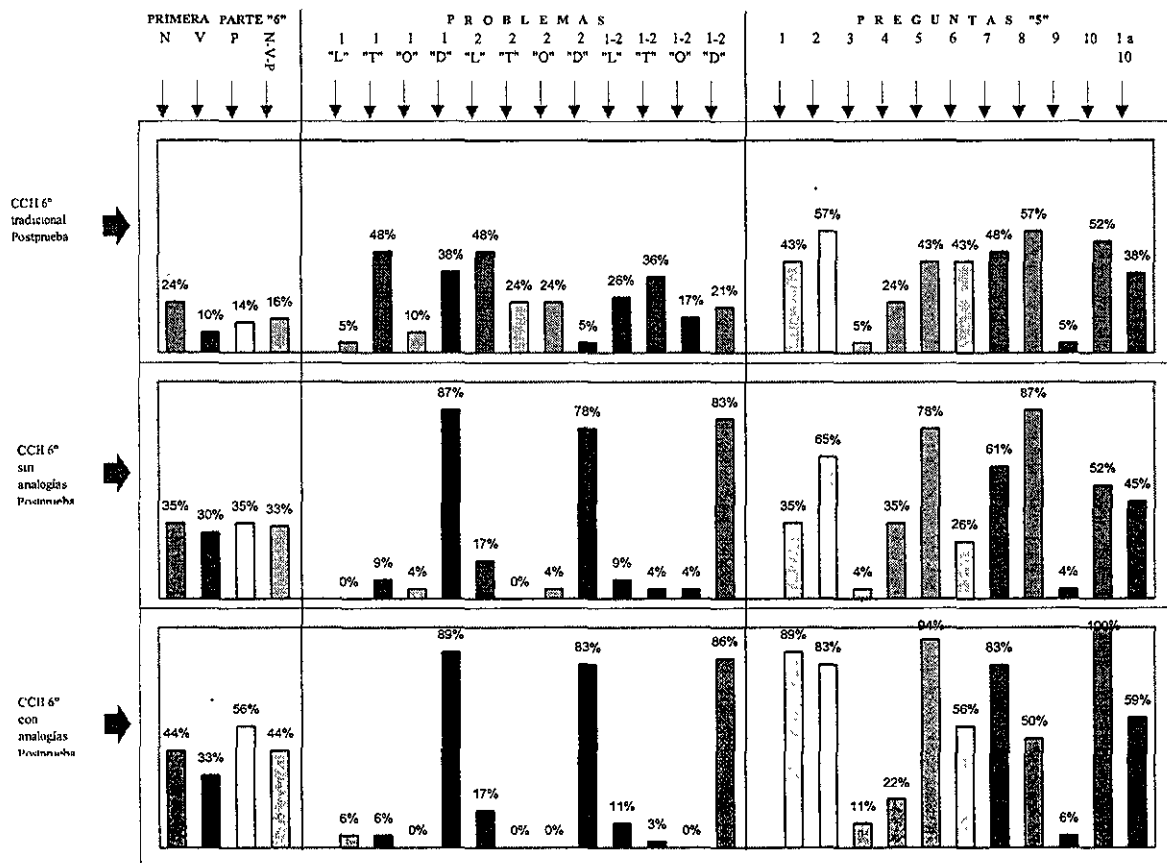
En cuanto a las preguntas de la tercera parte, hay una gran ganancia en las postruebas con y sin antecedentes, pero aun en estas pruebas se conservan las dificultades en las preguntas nueve, tres y cuatro.

Ahora bien, la Figura 10b incluye a la postprueba con enseñanza por medio del método tradicional; es notoria la influencia de la intervención en general en la calidad de las respuestas, sobre todo en la mejoría en el manejo del concepto de variación en la primera parte del examen, en el aumento de respuestas darwinianas en ambos problemas y en el rendimiento de las preguntas en la tercera parte, especialmente en la última pregunta de la tercera parte. En la tabla VI del Apéndice III se muestra que hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la calificación promedio total entre la postprueba del tratamiento tradicional contra el tratamiento con y sin analogías, pero no hay diferencias significativas en las calificaciones de los grupos a los que se les enseñó con y sin analogías.



Comparación parcial en resultados de las pruebas (en porcentajes)

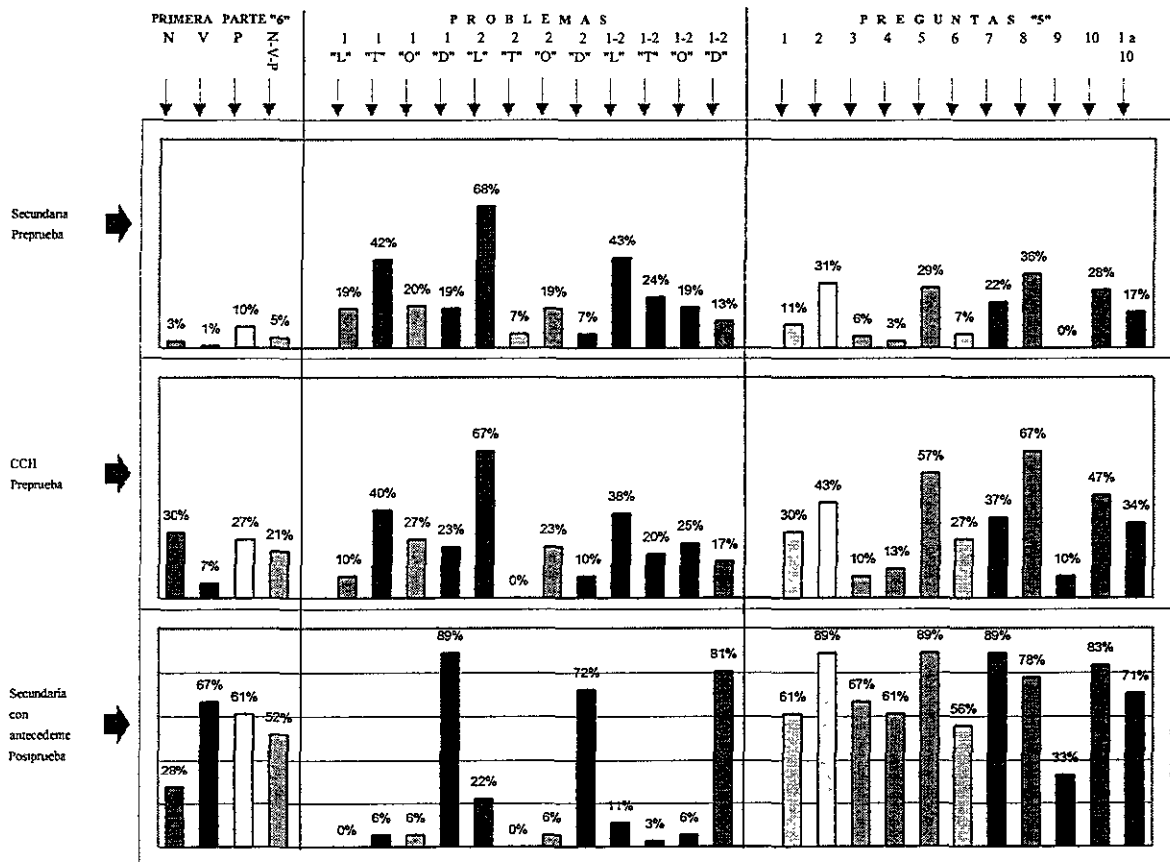
Figura 10a



Comparación parcial en resultados de las pruebas (en porcentajes)

Figura 10b

En la Figura 10c puede compararse la situación de la preprueba entre la secundaria y el CCH. En general se nota que en el CCH se manejan más conceptos antes de la intervención educativa mientras que en la postprueba de la secundaria se logra una mejoría en el manejo de los conceptos básicos, especialmente el de variación; un gran aumento en respuestas darwininas para ambos problemas, una gran reducción de respuestas lamarckianas y un buen manejo general de la tercera parte del examen.



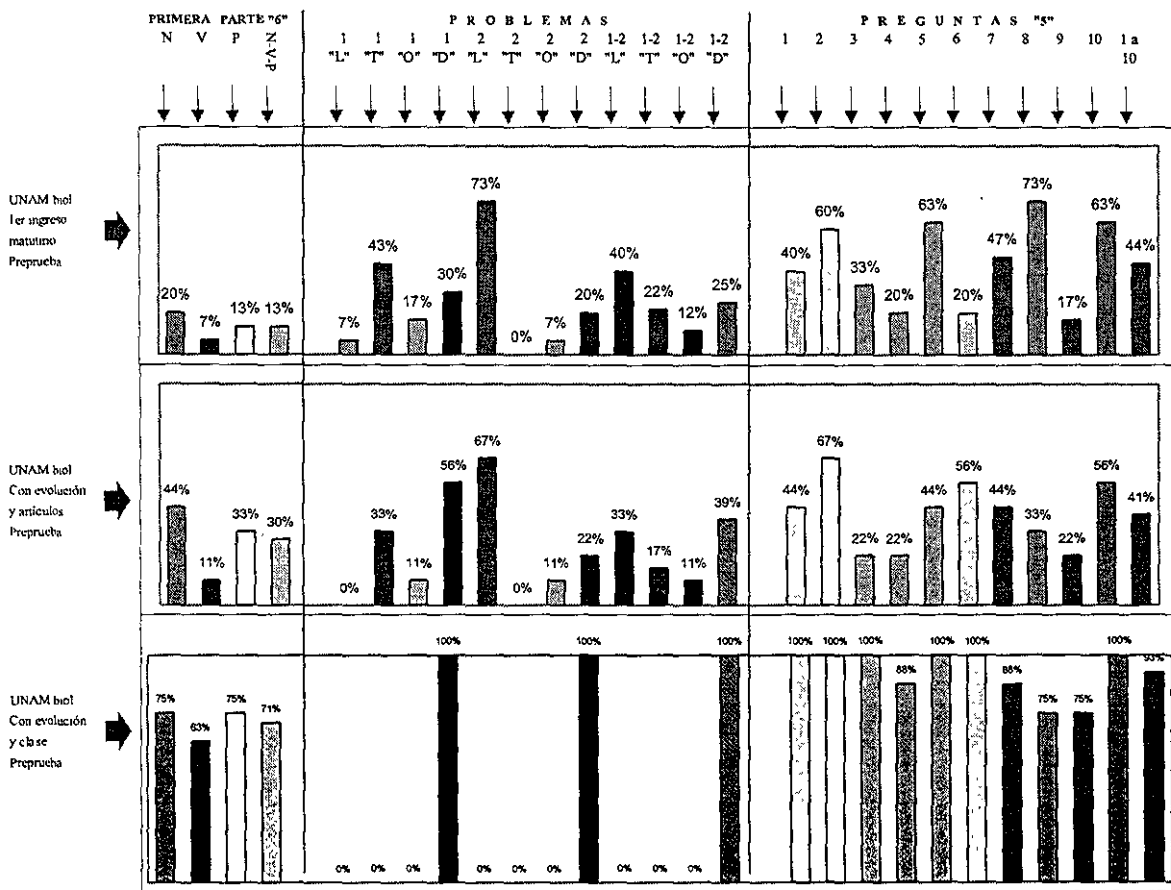
Comparación parcial en resultados de las pruebas (en porcentajes)

Figura 10c

En la tabla VII del Apéndice III se advierten diferencias significativas en el rendimiento general entre las postpruebas de la secundaria y del CCH.

La última figura de esta serie (Figura 10d) indica las calificaciones óptimas que tiene el último semestre de la carrera con clase de evolución; por ejemplo, aquí se ve que la resolución de problemas sólo presenta la alternativa darwiniana. En cambio, cuando se da la clase con artículos pero sin explicaciones por parte del maestro, y a pesar de que estos estudiantes aventajan a los de recién ingreso por lo menos por ocho semestres de clases de biología, su rendimiento es igualmente bajo. Parece ser que cuando se da la clase mediante lecturas, hay una preferencia por respuestas lamarckianas y un pobre manejo del concepto de variación.

Las pruebas estadísticas mostradas en la Tabla XIII del Apéndice III indican que el promedio general entre los estudiantes de primer ingreso y los que terminan la carrera con la materia optativa de evolución pero con artículos, tienen un promedio significativamente semejante.



Comparación parcial en resultados de las pruebas (en porcentajes)

Figura 10d

### XIII.5 RESULTADOS DE LA TERCERA PARTE DEL EXAMEN.

La Figura 11 muestra el resumen de la tercera parte del examen; en ella pueden verse los resultados obtenidos por todas las escuelas examinadas en cuanto al manejo de concepciones darwinianas (CD), alternativas (CA), falta de conocimiento (FC) o bien conocimiento incompleto (CI).

Aquí puede constatar que el conocimiento darwiniano alcanza su máximo al finalizar la carrera de biología y tras haber cursado evolución como materia optativa. En ese mismo caso, la falta de conocimiento (FC) es nula y el conocimiento incompleto (CI) es mínimo (0.25 en escala de 10). Las concepciones alternativas (CA) también prevalecen en una mínima cantidad (0.50).

En cambio, puede notarse que solamente en la postprueba de la secundaria que recibió clases con antecedentes de genética se obtienen concepciones darwinianas altas (7.06 en escala de 10). Por otro lado, en la postprueba del CCH donde se dio clase con analogías, tan sólo se obtuvieron concepciones darwinianas de 5.94 (en escala de 10).

La serie de Figuras 11 muestran los resultados del seguimiento conceptual.

En la primera Figura (Fig. 11a) se puede ver el aumento hacia concepciones darwinianas entre la preprueba y las postpruebas en la secundaria, y una disminución ligera de las concepciones alternativas funcionales (CA) y de las incompletas (CI) cuando se dio clase con antecedentes de genética. En cambio, es notoria la disminución en las concepciones no funcionales.

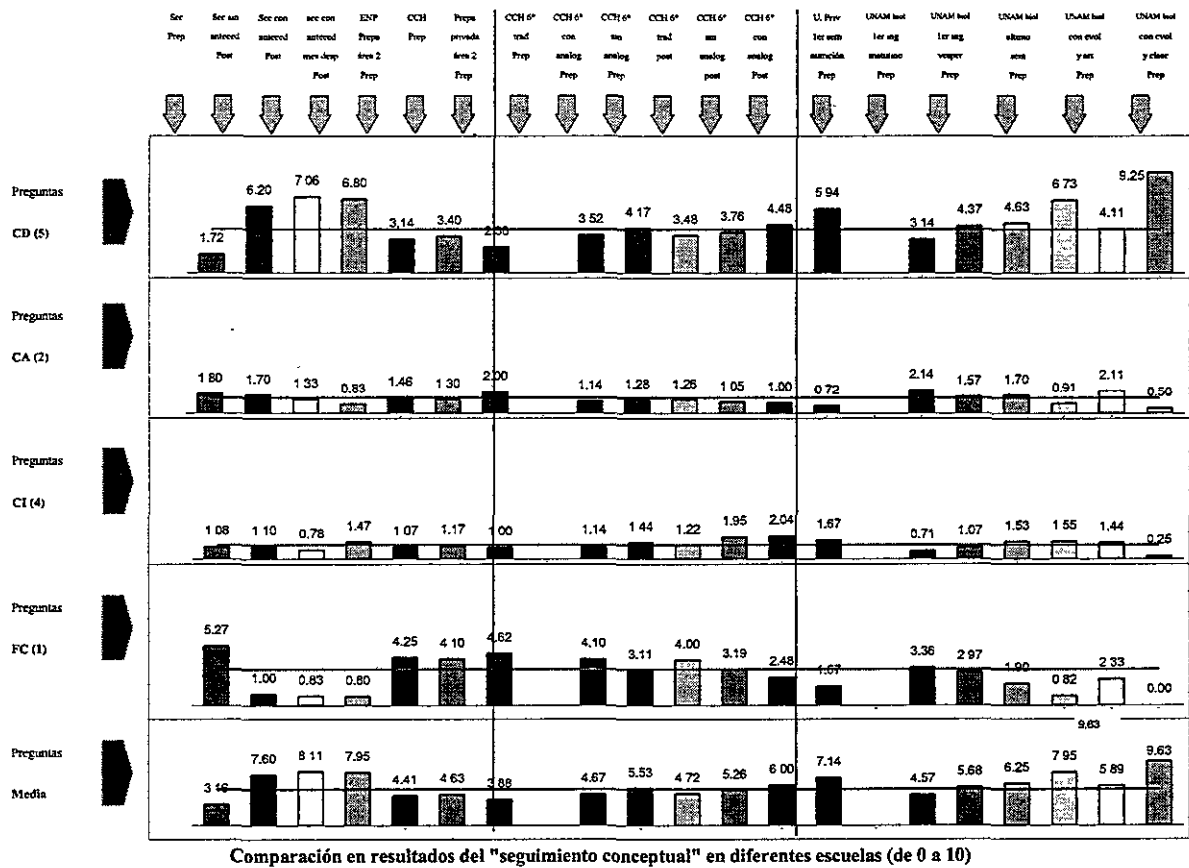
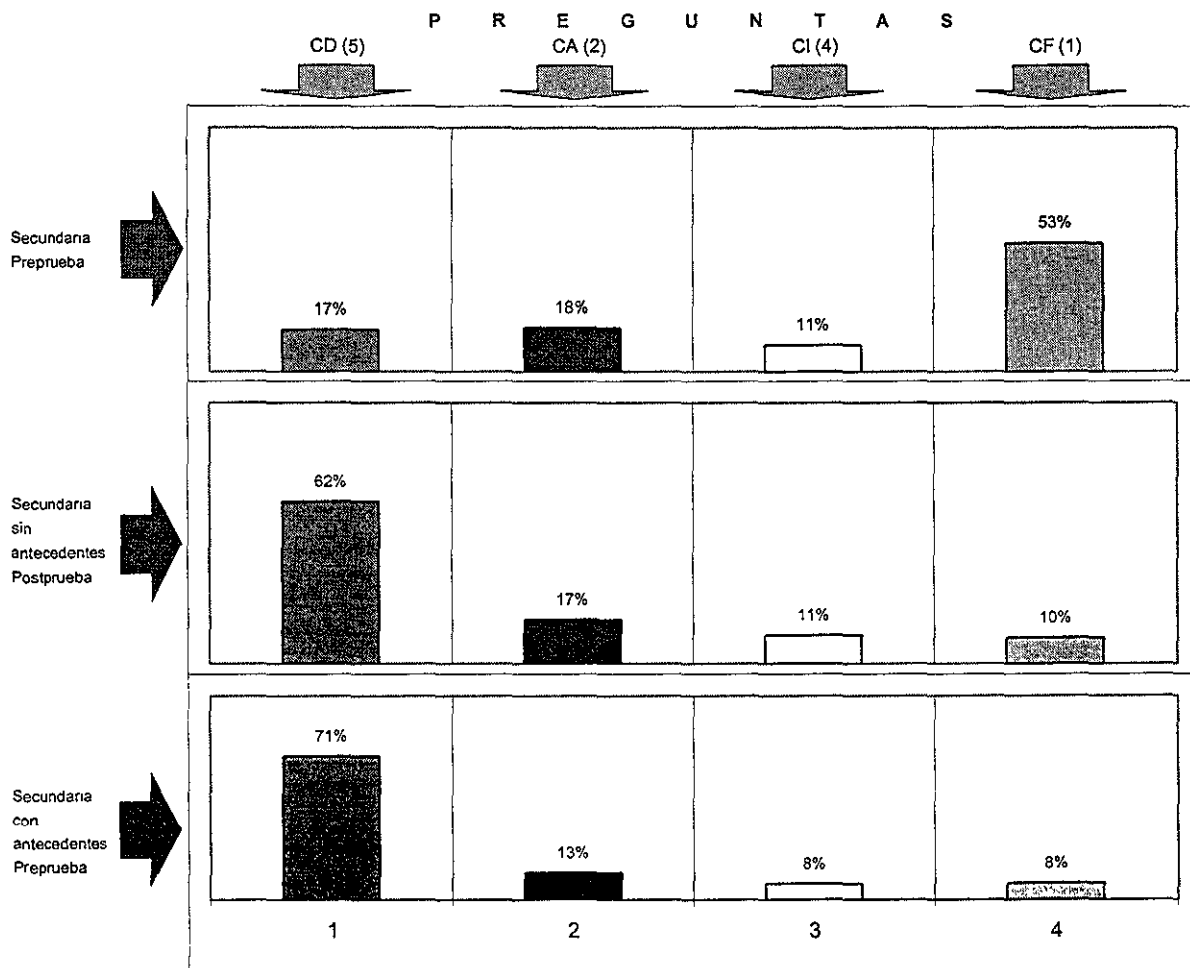


Figura 11



Comparación parcial en "seguimiento conceptual" (en porcentajes)

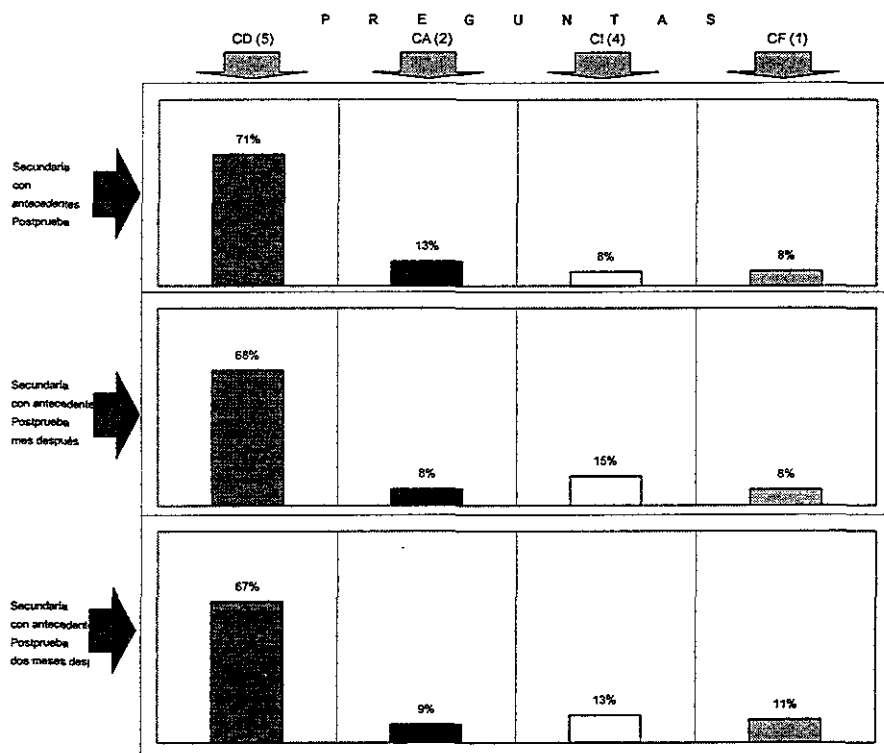
Figura 11a

En la Tabla I del Apéndice III se encuentra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre la falta de conocimiento (FC) entre los grupos a los que se dio clase con y sin antecedentes de genética, pero sí hay diferencias entre la preprueba y los grupos con tratamiento.

En la Figura 11b se muestra que las concepciones darwinianas, alternativas, disfuncionales y el conocimiento incompleto, se conservan muy semejantes a la semana de aplicarse el tratamiento, al mes y a los dos meses.

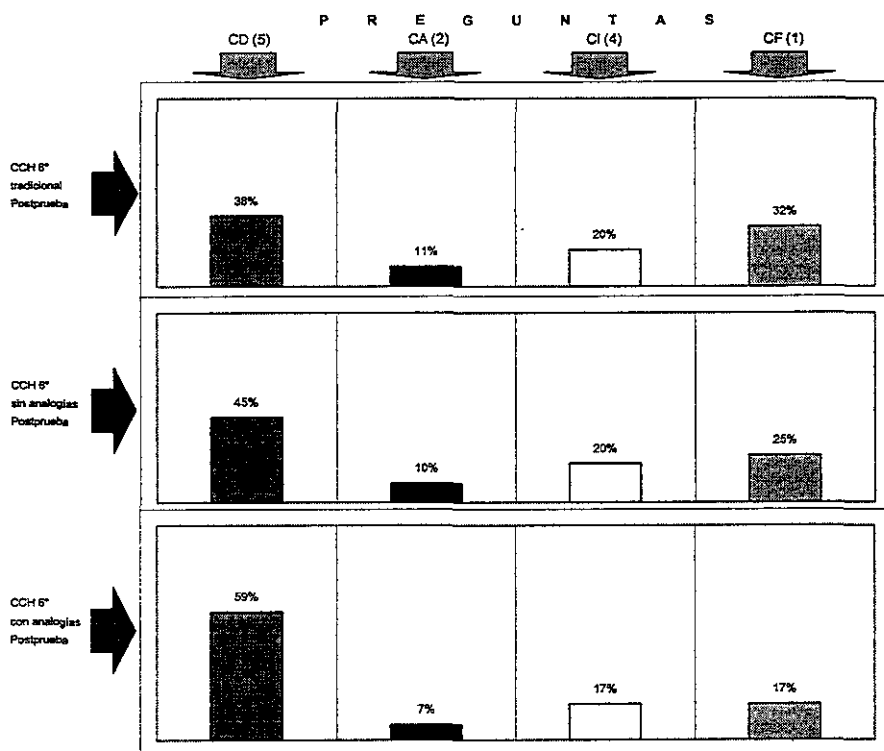
Solamente se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre las concepciones alternativas (CA) en la postprueba inmediata al tratamiento y las postpruebas uno y dos meses después del mismo (ver tabla II del Apéndice III).

Cuando se comparan los resultados de los tratamientos educativos aplicados al CCH con los resultados de la enseñanza por el método tradicional, se encuentra que la mayor reducción de concepciones alternativas funcionales (CA) y disfuncionales (FC) ocurre cuando se enseña con analogías; igualmente en este caso se obtiene la mayor cantidad de concepciones darwinianas (CD) (Fig. 11c).



Comparación parcial en "seguimiento conceptual" (en porcentajes)

Figura 11b



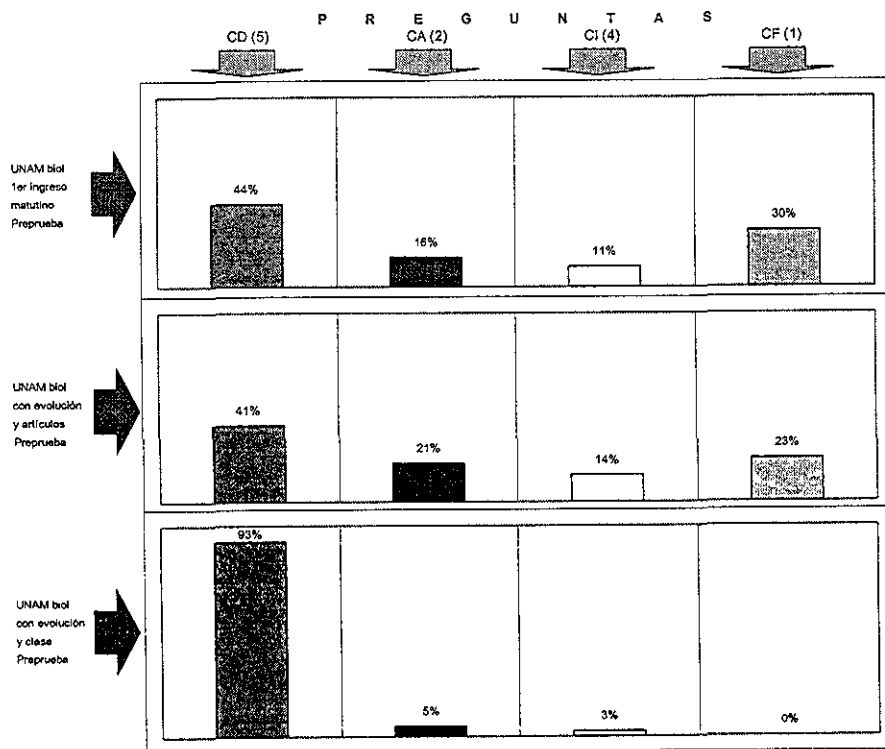
Comparación parcial en "seguimiento conceptual" (en porcentajes)

Figura 11c



En la tabla VI del Apéndice III se muestra que hay diferencias estadísticamente significativas entre la postprueba con el método tradicional vs. la postprueba con analogías y entre la postprueba con analogías vs. sin analogías, para las concepciones darwinianas. También hay diferencias entre la falta de conocimiento (FC) entre la postprueba tradicional y la postprueba con analogías (disminuyen en el segundo caso).

En la Figura 11d se nota el máximo resultado alcanzado en el último semestre de la carrera que cursó evolución con clases, en donde las concepciones alternativas disfuncionales son inexistentes, es decir, la carrera logra eliminarlas, y se conserva un pequeño remanente de concepciones alternativas funcionales.



Comparación parcial en "seguimiento conceptual" (en porcentajes)

Figura 11d

También se nota el avance en el uso de los conceptos evolutivos al terminar la carrera, contra los resultados que se obtienen en los grupos de primer ingreso. Lo que resulta interesante es que al final de la carrera y habiendo cursado evolución por medio de lecturas, el rendimiento en concepciones darwinianas es semejante al del primer ingreso. Si se compara este resultado con los otros de la Figura 11d, puede verse que tal rendimiento en el primer ingreso es incluso ligeramente mayor que cuando se llevó evolución con artículos, y que en este último caso hay una menor reducción de concepciones alternativas (CA). Esto muestra que al finalizar la carrera, si bien no se ha logrado un resultado como cuando se cursó evolución con clase, una materia impartida deficientemente como es el caso de enseñar por artículos determina una regresión en los resultados.

En la tabla XII del Apéndice III pueden corroborarse estadísticamente estos resultados.

### XIII.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SEGUIMIENTO CONCEPTUAL.

Para describir qué tipo de cambios ocurrieron en las concepciones de los estudiantes entre las prepruebas y las postpruebas, se requirió de un método llamado "análisis del seguimiento conceptual", propuesto por Jensen y Finley (1995). Este fue llevado a cabo a partir de las relaciones entre las preguntas de opción múltiple de la tercera parte del examen, y su justificación correspondiente entre las prepruebas y las postpruebas; así fue que se designaron las categorías CD, CA, CI y FC, explicadas en el capítulo de la metodología.

En el grupo tradicional del CCH con preprueba, puede verse en la tabla 2, que la mayoría de las respuestas fueron FC (41.35%), las segundas más frecuentes fueron las CD (35.58%), después las CA y la CI (ambas representan un 11.54%).

En la postprueba para ese mismo grupo, la mayoría de las respuestas son CD (37.8%) con un cambio de 6.76% entre ambas pruebas. La segunda respuesta más frecuente fue la FC con 32.06%, pero aquí el cambio es de -22.09%. Las terceras fueron CI (19.62%) y CA (10.53%). Curiosamente el cambio de CA entre pre y postprueba fue de -8.88%, mientras que el de CI aumenta en 70.83%. De estos primeros resultados puede verse que hay un aumento ligero en concepciones darwinianas CD pero sobre todo una disminución notable de FC.

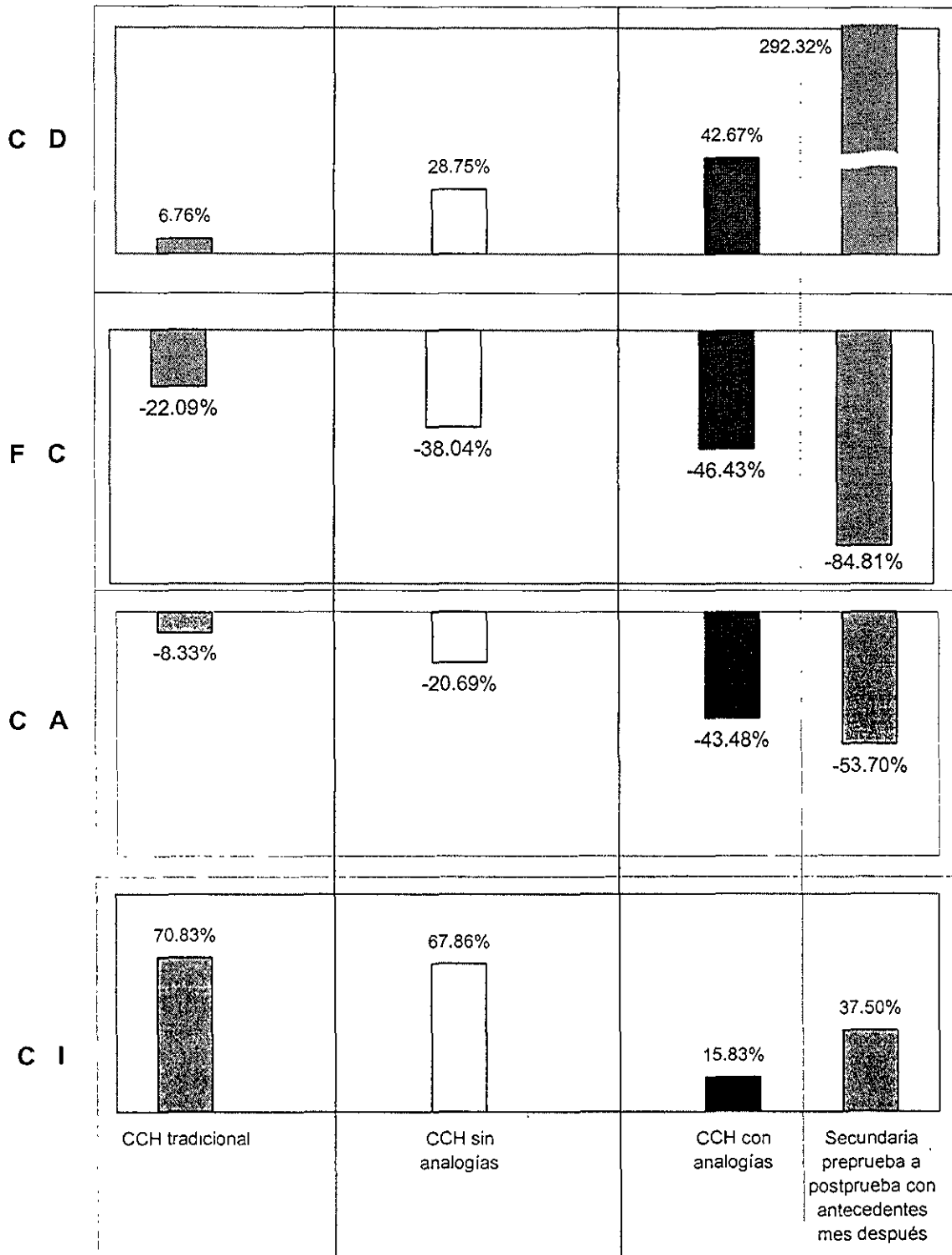
Si se sigue revisando la tabla 2 se ve que al comparar las diferentes concepciones entre preprueba y postprueba para el grupo del CCH al que se dio clase sin analogías, hay una mayor disminución de CA que con el método tradicional (-8.33% tradicional vs. -20.79% sin analogías); sin embargo, al igual que con el método tradicional, hay un aparente aumento fuerte en CI (67.86% para sin analogías). Con esta intervención, en cambio, hay un fuerte aumento de CD (28.75% vs. 6.76% con enseñanza tradicional).

	S E C U N D A R I A					
	Preprueba *		Postprueba con antec mes desp		Diferencia	
	Total	%	Total	%	Total	% cambio
CD	52	17.57%	204	68.69%	152	292.31%
CA	54	18.24%	25	8.42%	-29	-53.70%
CI	32	10.81%	44	14.81%	12	37.50%
FC	158	53.38%	24	8.08%	-134	-84.81%
Suma	296	100.00%	297	100.00%		

\* Una tercera parte

	CCH 6°					
	Preprueba		Postprueba		Diferencia	
	Total	%	Total	%	Total	%
	Tradicional (21 alumnos)					
CD	74	35.58%	79	37.80%	5	6.76%
CA	24	11.54%	22	10.53%	-2	-8.33%
CI	24	11.54%	41	19.62%	17	70.83%
FC	86	41.35%	67	32.06%	-19	-22.09%
Suma	208	100.00%	209	100.00%		
	Con analogías (18 alumnos)					
CD	75	41.67%	107	59.44%	32	42.67%
CA	23	12.78%	13	7.22%	-10	-43.48%
CI	26	14.44%	30	16.67%	4	15.38%
FC	56	31.11%	30	16.67%	-26	-46.43%
Suma	180	100.00%	180	100.00%		
	Sin analogías (23 alumnos)					
CD	80	34.93%	103	44.78%	23	28.75%
CA	29	12.66%	23	10.00%	-6	-20.69%
CI	28	12.23%	47	20.43%	19	67.86%
FC	92	40.17%	57	24.78%	-35	-38.04%
Suma	229	100.00%	230	100.00%		



CAMBIOS EN EL SEGUIMIENTO CONCEPTUAL DE PREPRUEBA A POSTPRUEBA

Fig. 12

Para el grupo en que se enseñó con analogías, la mayoría de las respuestas en la postprueba fueron CD (59.44%) y las FC y CI tuvieron resultados semejantes (16.67%). En este grupo se dio el máximo aumento entre pre y postprueba para CD (42.67%), mientras que los cambios en CA y FC son muy semejantes (CA de -43.48% y FC de -46.43%).

Todos los cambios entre prepruebas y postpruebas pueden verse en conjunto en la Fig. 12.

En la tabla 2 y en la misma Fig. 12 se muestra el mismo tipo de análisis para la secundaria.

Finalmente, se compararon estadísticamente las medias obtenidas en cada caso, ya que son equivalentes a la diferencia o porcentaje de cambio, pues éste es el resultado de medir las calificaciones obtenidas entre la preprueba y la postprueba.

En la tablas 3a y 3b puede observarse el resultado de estas pruebas en donde hay cambios significativos en CI de preprueba a postprueba para el tratamiento tradicional. Lo mismo ocurre entre pruebas para FC utilizando analogías y para el aumento de pre a postpruebas con el mismo tratamiento.

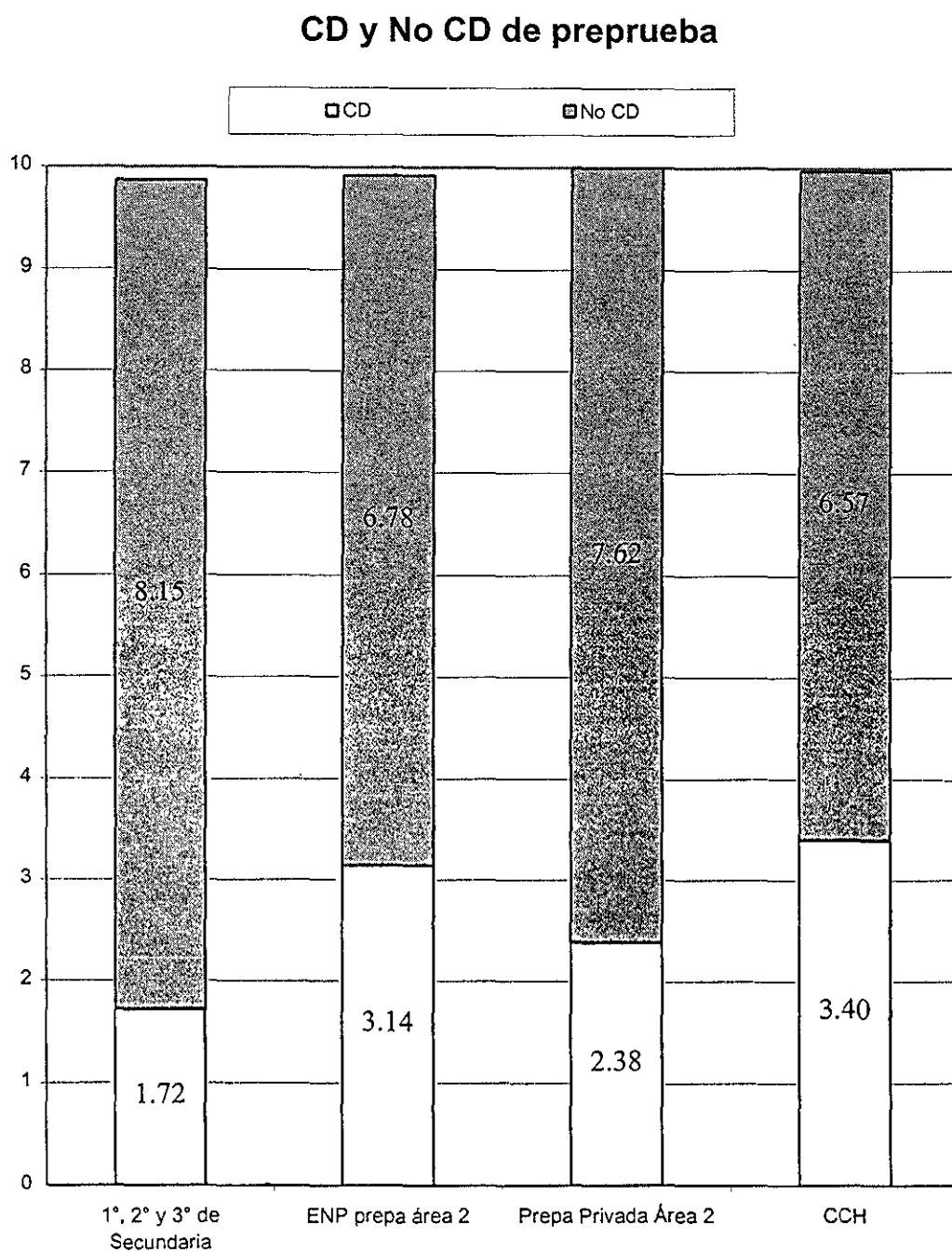
En el caso de enseñanza con analogías, hay cambio significativo entre todas las concepciones entre la preprueba y la postprueba, salvo con las CI donde el aparente aumento de la preprueba a la postprueba no es un cambio significativo. La misma situación ocurre para la secundaria.

En las Figuras 13 a 17, es posible comparar el conocimiento darwiniano (CD) contra el no darwiniano (No. CD); éste último es la suma de las concepciones alternativas (CA), las no funcionales (FC) y el conocimiento incompleto (CI).

tabla 3a

PRUEBAS DE HIPÓTESIS (comparaciones de cambios)

		Alumnos	Media	Desviación estándar	ESTADÍSTICO PRUEBA	CONCLUSIÓN	
CCH tradicional	CD	preprueba	21	3.52	2.50	0.33	No hay cambio significativo
		postprueba	21	3.76	2.19		
	FC	preprueba	21	4.10	2.53	1.24	No hay cambio significativo
		postprueba	21	3.19	2.20		
	CA	preprueba	21	1.14	1.06	0.32	No hay cambio significativo
		postprueba	21	1.05	0.74		
	CI	preprueba	21	1.14	0.79	2.71	Hay cambio significativo
		postprueba	21	1.95	1.12		
CCH sin analogías	CD	preprueba	23	3.48	2.09	1.67	No hay cambio significativo
		postprueba	23	4.48	1.97		
	FC	preprueba	23	4.00	2.47	2.22	Hay cambio significativo
		postprueba	23	2.48	2.17		
	CA	preprueba	23	1.26	1.05	1.00	No hay cambio significativo
		postprueba	23	1.00	0.67		
	CI	preprueba	23	1.22	0.74	2.84	Hay cambio significativo
		postprueba	23	2.04	1.17		

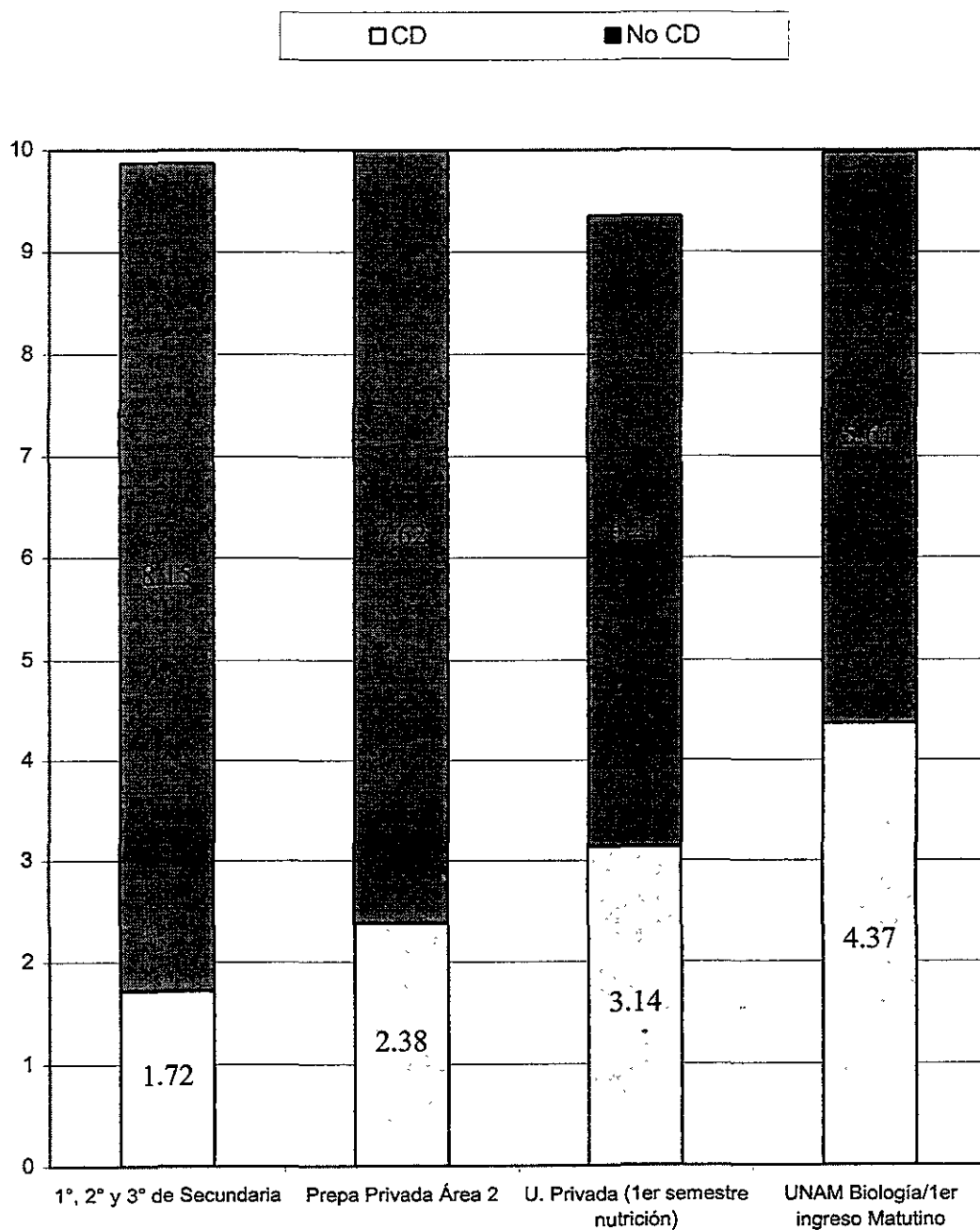


### Escuela y nivel

Comparación entre conocimiento darwiniano y no darwiniano en diferentes escuelas

Fig. 13

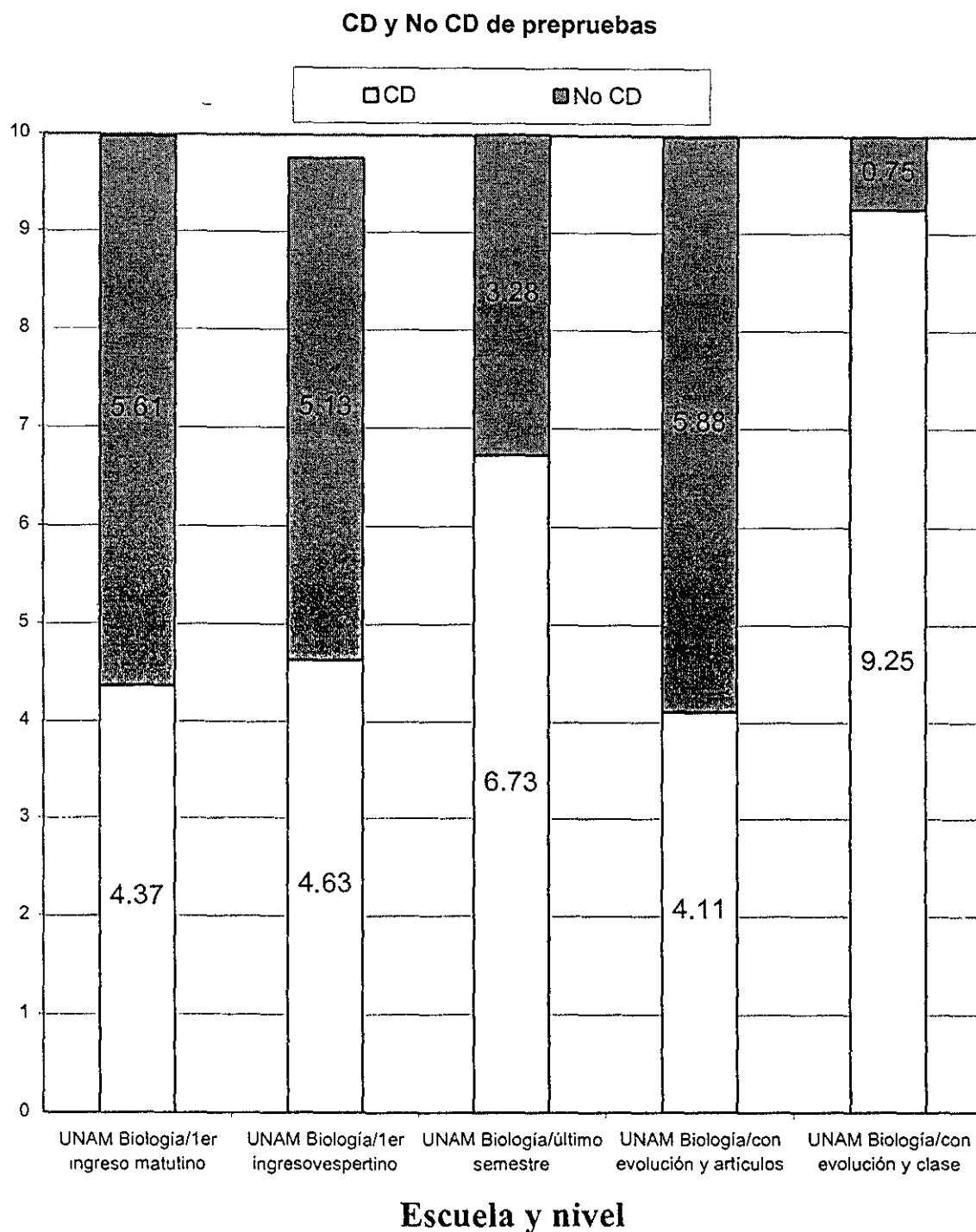
### CD y No CD de prepruebas



### Escuela y nivel

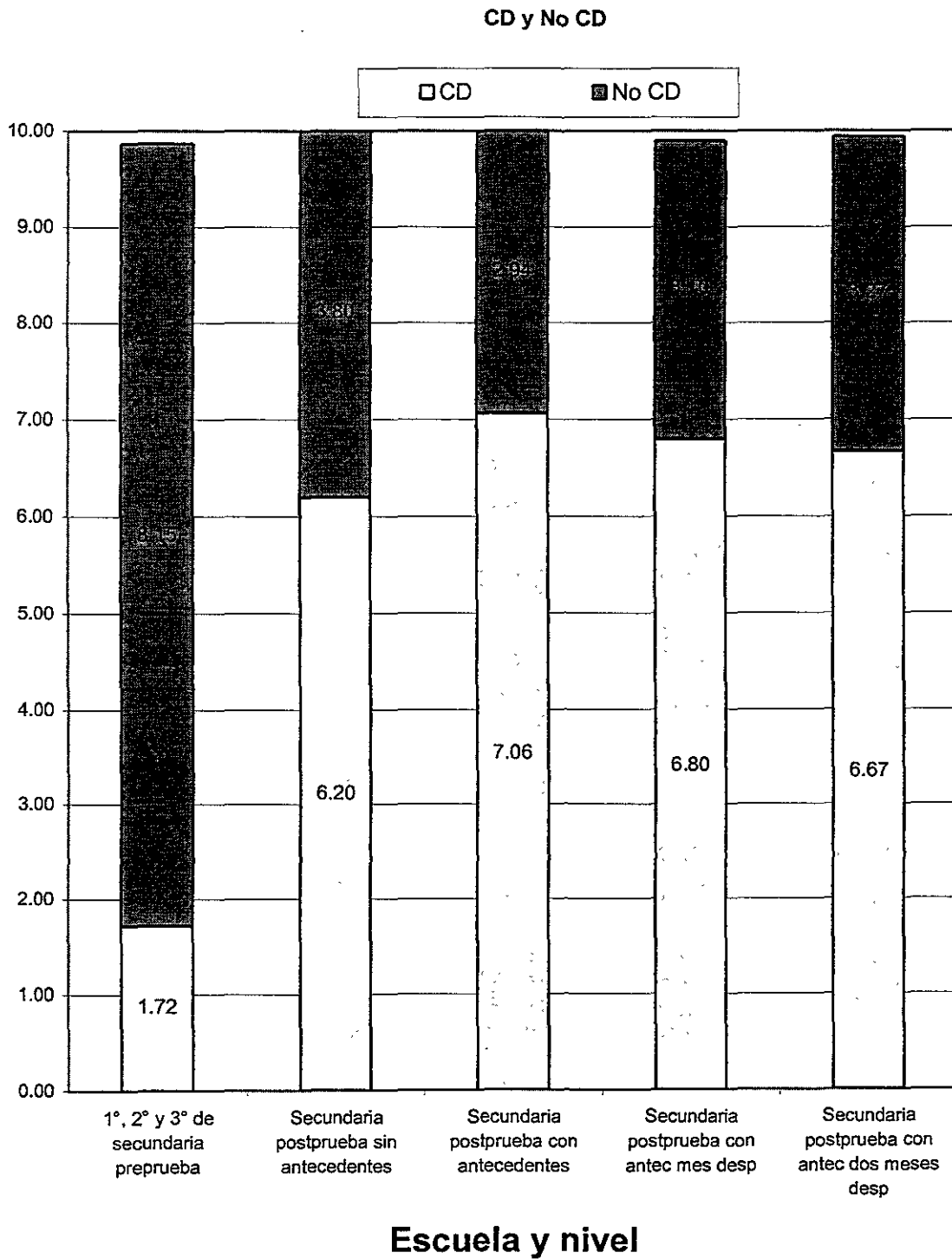
Comparación entre conocimiento darwiniano y no darwiniano en diferentes escuelas

Fig. 14



Comparación entre conocimiento darwiniano y no darwiniano en diferentes escuelas

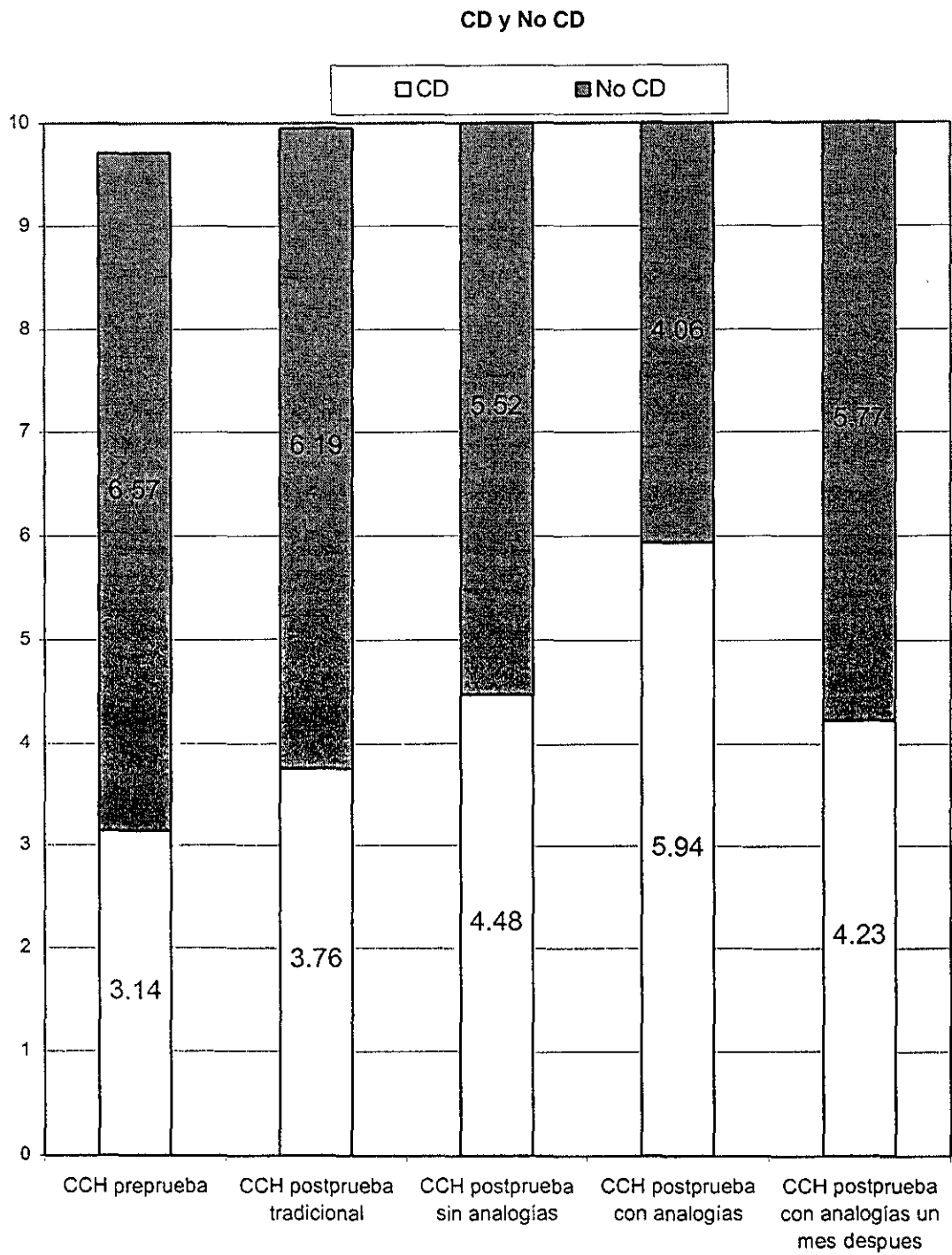
Fig. 15



Comparación en conocimiento darwiniano entre preprueba y postpruebas realizadas a diferentes tiempos (secundaria)

Fig. 16





**Escuela y nivel**

Comparación en conocimiento darwiniano entre la preprueba y las postpruebas después de diferentes tratamientos (CCH)

**Fig. 17**

En la Figura 13 se mira que en las prepruebas la secundaria y la preparatoria privada tienen la menor proporción de concepciones darwinianas contra la ENP o el CCH; sin embargo, en todos los casos las concepciones no darwinianas (No CD) aventajan a las primeras.

En la Figura 14 se observa que los estudiantes que ingresan a la Facultad de Ciencias tienen una mayor cantidad de concepciones darwinianas que los que ingresan a la universidad privada, y que los estudiantes de la preparatoria privada.

En la Figura 15 es posible notar la casi eliminación de las concepciones no darwinianas al terminar la carrera de biología, y la ganancia de concepciones darwinianas entre el último semestre de la carrera y al haber cursado evolución. También se aprecia la gran semejanza de resultados entre los resultados obtenidos por los jóvenes que ingresan al turno matutino y al vespertino de la carrera de biología en la Facultad de Ciencias.

En la Figura 16 se pueden ver los resultados de las postpruebas realizadas a diferentes tiempos después de la intervención educativa, contra el resultado de la preprueba para la secundaria. Resaltan la ganancia de concepciones darwinianas después de la intervención y la constancia de resultados uno y dos meses después de la aplicación de la postprueba.

La Figura 17 es el resumen de los resultados obtenidos en el trabajo efectuado en el CCH. Se nota la poca ganancia de concepciones darwinianas sobre la preprueba cuando se imparte la clase con el método tradicional, el avance en adquisición de concepciones darwinianas con el uso de analogías, pero la pérdida de gran parte de éstas un mes después, en que se alcanza el mismo nivel que cuando no se utilizaron analogías. También se observa que con el uso de analogías la ganancia en concepciones darwinianas ni siquiera dobla la cantidad de estas concepciones que se tenía en la preprueba.

### XIII.7. CÁLCULO PARA DETERMINAR LOS CAMBIOS EN LAS RESPUESTAS DE LAS PREGUNTAS Y LOS PROBLEMAS.

Para determinar los cambios en las respuestas de una situación a otra, es necesario comparar alumno por alumno a nivel de respuesta de la preprueba a la postprueba.

Hay que distinguir si la respuesta de la segunda situación es igual a la primera, o bien, a qué opción cambió. Por ejemplo, si una pregunta tiene cuatro posibles respuestas diferentes, en cualquier situación la respuesta será una y sólo una de esas cuatro posibilidades. Al combinar las respuestas de dos situaciones, las diferentes posibilidades son 16.

#### Preguntas

La respuesta a cada pregunta es: 5, 4, 2 ó 1. Si se combinan las respuestas de la preprueba y la postprueba, resultan 16 posibilidades diferentes: 5-5, 5-4, 5-2, 5-1; 4-5, 4-4, 4-2, 4-1; 2-5, 2-4, 2-2, 2-1; 1-5, 1-4, 1-2, 1-1

Para sistematizar el proceso, es necesario establecer una fórmula que permita diferenciar una combinación de otra. La siguiente cumple con el propósito:

$$(\text{respuesta de la preprueba} + 1)^2 + \text{respuesta de la postprueba}$$

Ejemplo 1: La respuesta de la preprueba es 5; la respuesta de la postprueba es 4. Al aplicar la fórmula, resulta lo siguiente:  $(5 + 1)^2 + 4 = 6^2 + 4 = 36 + 4 = 40$ , cuyo valor es único y diferente a cualquier otra combinación.

Ejemplo 2: La repuesta de la preprueba es 4; la respuesta de la postprueba es 5. Si se aplica la fórmula, se tiene que:  $(4 + 1)^2 + 5 = 5^2 + = 25 + 5 = 30$

Las 16 combinaciones, al aplicar la fórmula, son las siguientes:

COMBINACIONES POSIBLES (EN NEGRITO)			P O S T P R U E B A			
			5	4	2	1
			⇓	⇓	⇓	⇓
PRE	5	⇒	41	40	38	37
	4	⇒	30	29	27	26
PRUEBA	2	⇒	14	13	11	10
	1	⇒	9	8	6	5

- Con este principio, para cada grupo se procedió a elaborar cuadros en dos partes:
  - ✓ La primera que contiene, para cada alumno y pregunta:
  - ✓ Respuestas de la preprueba.
  - ✓ Respuestas de la postprueba.
  - ✓ Cálculos para determinar los cambios.
- La segunda comprende resúmenes de:
  - ✓ Las respuestas CD, CA, CI y FC de la preprueba y la postprueba.
  - ✓ Los cambios de la preprueba a la postprueba de las respuestas CD, CA, CI y FC.
  - ✓ Los cambios de la preprueba a la postprueba agrupadas en CD y no CD, así como la prueba de hipótesis de McNemar.

La primera parte se explica por sí misma; en cuanto a la segunda, se describe a continuación.

Las respuestas CD, CA, CI y FC se obtienen sumando los 5s, 2s, 4s y 1s respectivamente de la preprueba y la postprueba.

Los cambios de la preprueba a la postprueba de las respuestas CD, CA, CI y FC, resultan al sumar cada una de las 16 combinaciones posibles. La interpretación de los resultados, por ejemplo del *CCH 6° con analogías*, es como sigue:

- a) De las 75 respuestas CD en la preprueba, sólo 62 se mantienen con la misma elección en la postprueba, los 13 restantes se deciden por otra opción (8 por CI y 5 por FC);
- b) De las 23 respuestas CA en la preprueba, sólo 3 contestan CA en la postprueba y los otros 20 seleccionan otra opción (13 se deciden por CD, 5 por CI y 2 por FC);
- c) De las 26 respuestas CI en la preprueba, 4 se mantienen con la misma respuesta CI en la postprueba, los 22 restantes seleccionan otra opción (12 contestan CD, 2 CA y 8 FC); y
- d) De las 56 respuestas FC en la preprueba, 15 contestan la misma FC en la postprueba, los otros 41 contestan otra respuesta (20 seleccionan CD, 8 CA y 13 CI).

Los cambios de la preprueba a la postprueba en CD y no CD, así como la prueba de hipótesis de McNemar, se describen a continuación:

- a) Los cambios de la preprueba a la postprueba en CD y no CD, se obtienen como sigue:
  - De las 75 respuestas CD en la preprueba, 62 contestan lo mismo en la postprueba y 13 deciden otra opción, es decir contestan no CD; y
  - De las 105 respuestas no CD en la preprueba (23 CA + 26 CI + 56 FC=105 respuestas), 45 cambian de opinión en la postprueba y responden CD (13 + 12 + 20 = 45), los 60 restantes siguen con la misma respuesta, es decir, contestan no CD.
- b) Prueba de hipótesis de McNemar. Esta prueba consiste en determinar si al pasar de una situación a otra, se presentan cambios significativos (por ejemplo, determinar si hay cambios significativos en CD al comparar la preprueba con la postprueba). Para determinar si hubo cambio significativo, por ejemplo de una situación no deseable a una situación deseable o viceversa (de no CD a CD, o bien, de CD a no CD), se aplica el siguiente procedimiento:
  - Estadístico de prueba:  $T = \frac{(c-a)^2}{c+a}$ , que sigue una distribución de probabilidad  $\chi^2$  (distribución de probabilidad chi-cuadrado), en donde:
    - ✓ c: es el número de cambios de la situación no deseable a una situación deseable (cambios de no CD a CD, al pasar de la preprueba a la postprueba).
    - ✓ a: es el número de cambios de la situación deseable a la situación no deseable (cambios de CD a no CD, al pasar de la preprueba a la postprueba).
    - ✓ En el ejemplo descrito, hubo 45 cambios de la situación no deseable a la situación deseable (45 cambios de no CD a CD, al pasar de la preprueba a la postprueba) y 13 de la situación deseable a la no deseable (13 cambios de CD a no CD, al pasar de la preprueba a la postprueba); por lo tanto, el estadístico de prueba en este caso es:

$$T = \frac{(45-13)^2}{45+13} = \frac{32^2}{58} = \frac{1024}{58} = 17.6551$$

- El parámetro de comparación es una  $\chi^2$ , que al 95% de probabilidad, resulta de 3.84 ( $\chi_{0.95}^2 = 3.84$ ).
- La regla de decisión es:

- ✓  $\left\{ \begin{array}{l} 1) \text{ si el valor de T es menor que 3.84, se acepta que no hay cambio significativo.} \\ 2) \text{ si el valor de T es mayor de 3.84, se acepta que hay cambio significativo.} \end{array} \right.$

- ✓ Para el ejemplo, la decisión es que hay cambio significativo, ya que el valor del estadístico  $T = 17.6551$  es mayor que el parámetro de comparación  $\chi_{0.95}^2 = 3.84$

### Problemas

La respuesta a cada problema es: L, T, O o D. Las combinaciones de la preprueba y postprueba son: L-L, L-T, L-O, L-D; T-L, T-T, T-O, T-D; O-L, O-T, O-O, O-D; D-L, D-T, D-O, D-D.

Para aplicar operaciones aritméticas, a cada letra se le asoció un número, de la siguiente manera:

$$L=1$$

$$T=2$$

$$O=3$$

$$D=4$$

A continuación se aplicó el mismo procedimiento que se usó en las preguntas, excepto que no se aplicó la prueba de McNemar.

En las tablas 4 a 8 se muestran los datos obtenidos y el análisis de las respuestas entre prepruebas y postpruebas para distintos tratamientos, mientras que las tablas 9, 10, 11 y 12 muestran los cambios en las respuestas a los problemas.

La razón por la que se presentan con detalle los procedimientos estadísticos utilizados en este trabajo es que se espera que los maestros que lo consulten tengan a la mano los instrumentos necesarios para analizar sus propios resultados.

tabla 4

SECUNDARIA (CON ANTECEDENTES): Respuestas a las preguntas

Postprueba un mes después										Postprueba dos meses después										Cálculos para determinar cambios									
5	5	5	5	5	5	5	5	0	5	5	5	5	1	5	5	5	5	0	5	41	41	41	37	41	41	41	41	1	41
5	5	5	2	5	4	5	4	5	1	5	5	5	2	5	4	5	1	5	1	41	41	41	11	41	29	41	26	41	5
5	2	5	1	5	5	5	5	4	5	5	2	5	4	5	5	5	4	5	41	11	41	8	41	41	41	41	29	41	
5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	1	5	5	41	41	13	41	41	41	41	41	37	41	
1	5	5	2	1	4	5	5	1	5	4	5	5	2	1	5	4	5	1	5	8	41	41	11	5	30	40	41	5	41
5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	41	41	41	41	41	41	41	41	41	11	41
2	4	2	2	5	5	1	1	5	5	2	1	2	5	5	1	1	5	5	11	26	11	11	41	41	5	5	41	41	
5	5	2	5	4	4	5	5	2	5	5	2	5	4	5	5	5	2	5	41	41	11	41	29	30	41	41	11	41	
5	5	5	5	5	4	5	5	2	5	5	4	5	5	5	5	5	2	5	41	40	41	41	41	30	41	41	11	41	
4	5	1	1	5	1	1	5	4	1	4	5	1	1	5	4	4	5	1	1	29	41	5	5	41	8	8	41	26	5
5	1	5	5	5	5	4	2	5	5	5	1	5	5	5	5	4	2	5	5	41	5	41	41	41	41	29	11	41	41
5	5	1	1	5	4	4	5	4	5	5	5	1	5	4	4	5	4	5	41	41	9	5	41	29	29	41	29	41	
4	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	5	30	40	41	41	41	41	41	41	29	41	
5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	2	5	41	41	41	41	41	29	41	41	38	41
5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	41	14	38	41	41	41	41	41	41	41	
5	5	4	5	5	5	5	2	5	5	5	2	5	5	5	5	5	1	5	41	41	27	41	41	41	41	14	37	41	
4	5	4	2	4	4	4	1	2	1	4	5	4	2	4	4	4	2	4	4	29	41	29	11	29	29	29	6	13	8
4	4	4	2	5	2	4	5	1	5	4	4	2	5	2	4	5	1	5	29	29	29	11	41	11	29	41	5	41	
5	2	5	4	5	1	1	5	4	5	5	2	5	4	5	5	4	1	1	5	41	11	41	29	41	9	8	37	26	41
5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	41	41	40	41	41	41	41	41	9	37	
5	5	5	5	1	4	5	5	4	5	5	5	5	1	1	5	1	4	5	41	41	41	41	5	26	41	37	29	41	
4	5	5	5	5	5	4	2	5	4	4	5	5	5	5	1	2	5	1	29	41	41	41	41	26	11	41	26	41	
5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	2	5	41	41	41	41	41	41	41	41	11	41	
5	5	2	5	5	5	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5	0	5	41	41	11	41	41	41	41	41	36	6	
5	5	2	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	5	2	5	5	41	41	14	41	41	41	40	41	27	41	
4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	29	41	41	41	41	26	26	41	41	41	
5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	4	5	5	41	41	11	41	41	41	41	41	41	40	41
4	5	5	4	5	4	1	5	4	5	1	5	5	4	5	5	1	1	1	5	26	41	41	29	41	30	5	37	26	41
5	4	5	5	5	4	5	1	5	5	5	2	5	5	5	1	5	1	5	41	27	41	41	41	26	41	5	41	41	
5	1	5	5	5	5	5	5	2	5	5	2	5	5	5	5	5	4	5	41	6	41	41	41	41	41	41	13	41	

	Post mes desp	Post 2 meses desp
CD(5)	204	200
CA(2)	25	26
CI(4)	44	39
FC(1)	25	33
Suma	298	298

CAMBIOS					Suma	
Postprueba						
	5	2	4	1		
Pre	5	188	2	6	7	203
prue	2	3	19	3	0	25
ba	4	5	3	24	12	44
	1	3	3	6	14	26
Suma	199	27	39	33		298

CAMBIOS			
		Postprueba	
		CD(5)	No CD(5)
Preprueba	CD(5)	188	15
	No CD	11	84
		199	99
		298	
ESTADÍSTICO DE PRUEBA: $T = \frac{(11 - 15)^2}{11 + 15} = 0.6154$			
ESTADÍSTICO DE COMPARACIÓN: $\chi^2_{0.95} = 3.84$			
CONCLUSIÓN: No hay cambio significativo porque: $T < \chi^2_{0.95}$			

tabla 5

SECUNDARIA: Respuestas a las preguntas  
(Postprueba sin antecedentes y con antecedentes un mes después)

Postprueba sin antecedentes	Postprueba con antecedentes un mes después	Cálculos para determinar cambios
5 5 5 5 5 5 5 5 2 5	5 5 5 5 5 5 5 5 0 5	41 41 41 41 41 41 41 41 9 41
2 5 4 4 5 2 5 5 5 5	5 5 5 2 5 4 5 4 5 1	14 41 30 27 41 13 41 40 41 37
5 2 5 4 5 5 5 5 4 5	5 2 5 1 5 5 5 5 4 5	41 11 41 26 41 41 41 41 29 41
5 5 5 2 5 5 5 5 5 5	5 5 2 5 5 5 5 5 5 5	41 41 38 14 41 41 41 41 41 41
2 5 4 5 5 2 5 2 4 5	1 5 5 2 1 4 5 5 1 5	10 41 30 38 37 13 41 14 26 41
2 5 5 4 1 1 5 4 1 4	5 5 5 5 5 5 5 5 2 5	14 41 41 30 9 9 41 30 6 30
2 4 5 1 2 4 2 2 2 2	2 4 2 2 5 5 0 1 5 5	11 29 38 6 14 30 9 10 14 14
5 5 2 5 5 5 5 1 5 5	5 5 2 5 4 4 5 5 2 5	41 41 11 41 40 40 41 9 38 41
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	5 5 5 5 5 4 5 5 2 5	41 41 41 41 41 40 41 41 38 41
2 5 4 4 5 5 5 5 4 5	4 5 1 1 5 1 1 5 4 1	13 41 26 26 41 37 37 41 29 37
5 1 2 4 5 4 4 1 2 5	5 1 5 5 5 5 4 2 5 5	41 5 14 30 41 30 29 6 14 41
2 5 5 5 5 5 5 5 5 5	5 5 1 1 5 4 4 5 4 5	14 41 37 37 41 40 40 41 40 41
5 5 5 5 5 4 5 5 2 5	4 5 5 5 5 5 5 5 4 5	40 41 41 41 41 30 41 41 13 41
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	5 5 5 5 5 4 5 5 5 5	41 41 41 41 41 40 41 41 41 41
2 2 4 4 5 2 2 1 1 4	5 2 5 5 5 5 5 5 5 5	14 11 30 30 41 14 14 9 9 30
5 1 4 5 5 2 1 5 1 5	5 5 4 5 5 5 5 2 5 5	41 9 29 41 41 14 9 38 9 41
5 5 4 1 2 5 5 5 5 2	4 5 4 2 4 4 4 1 2 1	40 41 29 6 13 40 40 37 38 10
2 2 1 1 4 2 5 2 4 1	4 4 4 2 5 2 4 5 1 5	13 13 8 6 30 11 40 14 26 9
5 1 1 5 4 4 1 2 2 5	5 2 5 4 5 1 1 5 4 5	41 6 9 40 30 26 5 14 13 41
2 2 5 4 5 2 5 1 1 5	5 5 5 5 5 5 5 5 1 5	14 14 41 30 41 14 41 9 5 41
5 5 4 5 5 5 2 5 2 5	5 5 5 5 1 4 5 5 4 5	41 41 30 41 37 40 14 41 13 41
5 5 1 5 5 5 5 5 2 5	4 5 5 5 5 5 4 2 5 4	40 41 9 41 41 41 40 38 14 40
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	5 5 5 5 5 5 5 5 2 5	41 41 41 41 41 41 41 41 38 41
5 5 5 1 5 5 5 5 2 5	5 5 2 5 5 5 5 5 5 0	41 41 38 9 41 41 41 41 14 36
2 5 5 4 5 2 1 2 1 2	5 5 2 5 5 5 5 5 4 5	14 41 38 30 41 14 9 14 8 14
2 5 5 1 4 5 5 5 2 5	4 5 5 5 5 4 4 5 5 5	13 41 41 9 30 40 40 41 14 41
5 5 5 5 5 4 5 5 2 5	5 5 2 5 5 5 5 5 5 5	41 41 38 41 41 30 41 41 14 41
5 5 5 5 5 5 5 5 5 5	4 5 5 4 5 4 1 5 4 5	40 41 41 40 41 40 37 41 40 41
5 5 1 1 5 5 5 2 1 1	5 4 5 5 5 4 5 1 5 5	41 40 9 9 41 40 41 10 9 9
2 5 5 4 5 2 5 5 5 5	5 1 5 5 5 5 5 5 2 5	14 37 41 30 41 14 41 41 36 41

	Post sin antec	Post con ant mes desp
CD(5)	186	204
CA(2)	51	25
CI(4)	33	44
FC(1)	30	24
Suma	300	297

CAMBIOS						
	Postprueba				Suma	
	5	2	4	1		
Pre	5	135	13	26	11	185
prue	2	30	5	10	4	49
ba	4	20	1	6	6	33
	1	21	6	2	3	32
Suma	206	25	44	24	299	

CAMBIOS			
	Postprueba		
	CD(5)	No CD(5)	
Preprueba	135	50	185
	71	43	114
	206	93	299

ESTADÍSTICO DE PRUEBA:  $T = \frac{(71 - 50)^2}{71 + 50} = 3.6446$

ESTADÍSTICO DE COMPARACIÓN:  $\chi^2_{0.95} = 3.84$

CONCLUSIÓN. No hay cambio significativo porque  $T < \chi^2_{0.95}$

tabla 6

CCH 6° (TRADICIONAL): Respuestas a las preguntas

Preprueba										Postprueba										Cálculos para determinar cambios									
5	5	4	5	5	1	2	5	4	5	5	5	4	5	4	1	2	5	4	5	41	41	29	41	40	5	11	41	29	41
5	1	4	1	1	4	1	5	1	1	5	1	4	1	2	4	2	5	1	1	41	5	29	5	6	29	6	41	5	5
1	5	4	1	2	1	5	5	1	1	5	4	1	2	1	5	5	4	5	5	41	29	5	11	5	41	41	8	9	
1	1	1	1	1	4	1	1	1	5	1	1	1	2	4	1	1	2	5	5	5	5	5	6	29	5	5	6	41	
5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	41	41	37	5	41	41	41	41	41	41	41
2	1	4	5	5	1	1	2	1	5	2	1	2	1	5	1	2	1	5	11	5	29	41	41	9	5	11	5	41	
2	2	1	1	5	2	2	5	1	1	4	4	4	1	5	4	2	5	1	1	13	13	8	5	41	13	11	41	5	5
2	1	1	1	1	4	1	1	2	1	1	2	1	1	1	5	1	1	4	4	10	6	5	5	5	30	5	5	13	8
2	5	4	1	5	1	1	5	4	0	2	5	4	1	5	5	5	4	1	0	11	41	29	5	41	9	9	40	26	1
4	5	1	1	5	5	1	5	2	1	4	5	1	1	5	4	1	5	2	1	29	41	5	5	41	40	5	41	11	5
5	1	5	1	1	5	1	5	1	4	5	5	1	1	1	5	5	1	1	4	41	9	37	5	5	41	9	37	5	29
2	1	2	1	1	1	1	5	1	1	2	1	2	1	1	1	5	1	1	1	11	5	11	5	5	5	9	37	5	5
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	6	5	10	5	5	5	5	5	5	8
5	5	1	1	5	5	5	4	5	5	41	41	6	5	40	41	41	30	40	41	41	41	6	5	40	41	41	30	40	41
5	1	1	4	1	5	4	2	1	2	5	1	1	4	1	5	4	2	1	2	41	5	5	29	5	41	29	11	5	11
2	5	4	4	5	2	5	5	1	5	11	41	29	30	41	11	41	41	5	41	11	41	29	30	41	11	41	41	5	41
4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	30	40	41	41	40	41	41	41	41	29	41	41	41	40	41	41	41	29	41	41
5	5	4	1	5	4	5	5	1	1	41	41	29	8	41	29	41	41	5	5	41	41	29	8	41	29	41	41	5	5
1	2	2	5	1	1	1	1	1	1	5	14	11	41	5	5	8	8	8	9	5	14	11	41	5	5	8	8	8	9
5	5	4	1	4	5	1	5	2	2	41	41	29	5	30	41	8	41	11	14	41	41	29	5	30	41	8	41	11	14
2	5	4	1	5	1	5	5	1	2	13	41	29	5	41	8	41	41	8	14	13	41	29	5	41	8	41	41	8	14

	Pre	Post
CD(5)	74	79
CA(2)	25	22
C(4)	24	41
FC(1)	86	67
Suma	209	209

CAMBIOS					
	Postprueba				Suma
Pre	5	2	4	1	74
prue	2	3	15	5	25
ba	4	5	0	18	24
	1	8	7	11	60
Suma	79	22	41	67	209

CAMBIOS				
	Postprueba	No CD(5)		
	CD(5)	63	11	74
Preprueba	No CD	16	119	135
		79	130	209

ESTADÍSTICO DE PRUEBA: 
$$T = \frac{(16-1)^2}{16+11} = 0.9259$$

ESTADÍSTICO DE COMPARACIÓN: 
$$\chi^2_{0.95} = 3.84$$

CONCLUSIÓN: No hay cambio significativo porque 
$$T < \chi^2_{0.95}$$



tabla 7

CCH 6° (S I N A N A L O G Í A S): Respuestas a las preguntas

Preprueba										Postprueba										Cálculos para determinar cambios									
1	4	1	5	5	1	1	5	1	2	1	5	2	5	5	4	5	5	1	4	5	30	6	41	41	8	9	41	5	13
2	5	4	4	5	2	5	5	1	5	2	5	4	4	5	4	5	5	1	5	11	41	29	29	41	13	41	41	5	41
1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	4	1	5	6	5	5	5	5	5	13	5	6
1	2	4	1	5	2	5	5	1	5	1	2	4	1	5	5	5	5	1	5	5	11	29	5	41	14	41	41	5	41
2	2	4	1	5	1	5	5	1	5	2	4	1	5	5	4	5	5	1	4	13	14	27	9	41	8	41	41	5	40
5	5	4	5	5	1	2	5	4	5	5	4	5	5	4	5	5	1	2	5	41	41	29	41	41	5	11	41	29	41
5	1	4	1	1	4	1	5	1	1	5	5	4	2	5	4	1	5	1	1	41	9	29	6	9	29	5	41	5	5
1	5	4	1	2	1	5	5	1	1	1	5	4	5	2	1	5	5	4	5	5	41	29	9	11	5	41	41	8	9
4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	30	29	40	41	41	41	41	41	41	41
5	5	4	2	5	4	5	5	2	2	4	4	2	2	5	4	5	5	1	4	40	40	27	11	41	29	41	41	10	13
1	5	2	1	1	1	1	1	1	5	5	5	4	1	5	4	5	5	1	5	9	41	13	5	9	8	9	9	5	41
5	5	4	1	4	5	1	5	2	2	1	5	2	1	5	2	1	1	1	5	37	41	27	5	26	37	5	37	10	14
2	5	4	1	5	1	5	5	1	2	5	5	4	1	4	5	1	5	2	4	14	41	29	5	40	9	37	41	6	13
2	1	1	1	1	4	5	5	1	5	4	4	2	2	5	4	5	5	1	5	13	8	6	6	9	29	41	41	5	41
1	5	4	4	5	5	1	5	1	5	1	5	4	4	5	5	5	2	5	5	5	41	29	29	41	41	9	41	6	41
5	1	4	1	1	4	1	5	1	1	5	1	4	1	1	4	1	5	1	1	41	5	29	5	5	29	5	41	5	5
1	5	4	1	2	1	5	5	1	1	4	5	2	5	5	4	5	5	1	4	8	41	27	9	14	8	41	41	5	8
1	1	1	1	4	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	5	1	2	1	1	5	5	5	5	30	5	6	5	5	41
5	5	5	1	5	5	5	5	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	1	5	41	41	41	9	41	41	41	41	5	41
2	1	4	5	5	1	1	2	1	5	4	5	2	2	5	4	5	5	1	4	13	9	27	38	41	8	9	14	5	40
2	2	1	1	5	2	2	5	1	1	2	2	1	1	5	4	4	5	1	5	11	11	5	5	41	13	13	41	5	9
2	1	1	1	1	1	1	1	4	1	5	5	1	1	5	5	4	5	1	4	14	9	5	5	9	9	8	30	5	13
2	5	4	1	1	5	1	5	4	2	4	5	2	5	5	4	5	5	1	4	13	41	27	9	9	40	9	41	26	13

	Pre	Post
CD(5)	80	103
CA(2)	30	23
CI(4)	28	47
FC(1)	92	57
Suma	230	230

C A M B I O S						
	Postprueba				Suma	
	5	2	4	1		
Pre	5	68	1	7	4	80
prue	2	7	7	14	2	30
ba	4	4	6	16	2	28
	1	24	9	10	49	92
Suma	103	23	47	57		230

C A M B I O S			
	Postprueba		
	CD(5)	No CD(5)	
Preprueba	68	12	80
No CD	35	115	150
	103	127	230

ESTADÍSTICO DE PRUEBA:  $T = \frac{(35-12)^2}{35+12} = 11.2553$

ESTADÍSTICO DE COMPARACIÓN:  $\chi^2_{0.95} = 3.84$

CONCLUSIÓN: Hay cambio significativo porque  $T > \chi^2_{0.95}$



tabla 10

CCH 6° (TRADICIONAL): respuestas a los problemas

PROBLEMA 1			PROBLEMA 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
Preprueba	Postprueba	Cálculos	Preprueba	Postprueba	Cálculos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
<table border="1"><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr></table>	T					D		O			O		T			T					D	L			T					D	T			T			L					D			D		O		T					D		O			O		<table border="1"><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr></table>	T					D	T			T							O		L			T					D			D	T			T			L					D			D			D	T				O				D			D	<table border="1"><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>18</td></tr><tr><td>3</td><td>2</td><td>18</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>12</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>4</td><td>2</td><td>27</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>28</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr></table>	2	2	11	4	4	29	3	2	18	3	2	18	2	2	11	2	3	12	4	4	29	1	1	5	2	2	11	4	4	29	2	4	13	2	2	11	2	2	11	1	2	6	4	2	27	4	4	29	3	4	20	2	2	11	4	3	28	3	4	20	3	4	20	<table border="1"><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td>D</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	L				L						O		L				L				L				L						O				O				O	D	L				L				L				L				L				L				L				L				L				L				L				L				<table border="1"><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr></table>	T								O	L								O			O			D	L			L			L			L			L			L			L			L			L			L			L			L			L			L			L			<table border="1"><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>19</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>3</td><td>7</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>19</td></tr><tr><td>4</td><td>3</td><td>28</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>19</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>17</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>6</td></tr></table>	1	2	6	1	1	5	3	3	19	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	3	7	3	3	19	4	3	28	3	4	20	1	1	5	1	1	5	1	1	5	1	1	5	3	3	19	1	1	5	1	1	5	1	2	6	1	2	6	3	1	17	1	2	6	1	2	6
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	2	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	2	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	3	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	2	27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	3	28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		O	D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	3	19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	3	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	3	19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
4	3	28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	3	19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
3	1	17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
1	2	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"><tr><th>Pre</th><th>Post</th></tr><tr><td>L</td><td>2</td><td>1</td></tr><tr><td>T</td><td>8</td><td>10</td></tr><tr><td>O</td><td>5</td><td>2</td></tr><tr><td>D</td><td>6</td><td>8</td></tr></table>	Pre	Post	L	2	1	T	8	10	O	5	2	D	6	8	<table border="1"><tr><th colspan="6">CAMBIOS</th></tr><tr><th colspan="6">Postprueba</th></tr><tr><th>Pre</th><th>L</th><th>T</th><th>O</th><th>D</th><th>suma</th></tr><tr><td>L</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>prue</td><td>0</td><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>8</td></tr><tr><td>ba</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>3</td><td>5</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>4</td><td>6</td></tr><tr><td></td><td>1</td><td>10</td><td>2</td><td>8</td><td>21</td></tr></table>	CAMBIOS						Postprueba						Pre	L	T	O	D	suma	L	1	1	0	0	2	prue	0	6	1	1	8	ba	0	2	0	3	5	D	0	1	1	4	6		1	10	2	8	21	<table border="1"><tr><th>Pre</th><th>Post</th></tr><tr><td>L</td><td>15</td><td>10</td></tr><tr><td>T</td><td>0</td><td>5</td></tr><tr><td>O</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	Pre	Post	L	15	10	T	0	5	O	5	5	D	1	1	<table border="1"><tr><th colspan="6">CAMBIOS</th></tr><tr><th colspan="6">Postprueba</th></tr><tr><th>Pre</th><th>L</th><th>T</th><th>O</th><th>D</th><th>suma</th></tr><tr><td>L</td><td>9</td><td>5</td><td>1</td><td>0</td><td>15</td></tr><tr><td>prue</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>ba</td><td>1</td><td>0</td><td>3</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>10</td><td>5</td><td>5</td><td>1</td><td>21</td></tr></table>	CAMBIOS						Postprueba						Pre	L	T	O	D	suma	L	9	5	1	0	15	prue	0	0	0	0	0	ba	1	0	3	1	5	D	0	0	1	0	1		10	5	5	1	21																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Pre	Post																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
L	2	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T	8	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
O	5	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
D	6	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
CAMBIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Postprueba																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Pre	L	T	O	D	suma																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
L	1	1	0	0	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
prue	0	6	1	1	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ba	0	2	0	3	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
D	0	1	1	4	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	1	10	2	8	21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Pre	Post																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
L	15	10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T	0	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
O	5	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
D	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
CAMBIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Postprueba																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Pre	L	T	O	D	suma																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
L	9	5	1	0	15																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
prue	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
ba	1	0	3	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
D	0	0	1	0	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
	10	5	5	1	21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									

tabla 11

CCH 6° (SIN ANALOGÍAS): respuestas a los problemas

PROBLEMA 1			PROBLEMA 2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
Preprueba	Postprueba	Cálculos	Preprueba	Postprueba	Cálculos																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr></table>	T					D		O			O		T			T					D	L			T					D		O			O			O		T			L			T			L					D	T			T				O		T			<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td>T</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td>D</td></tr></table>			D			D	T					D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D			D	<table border="1"><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>2</td><td>3</td><td>12</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr><tr><td>2</td><td>2</td><td>11</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>2</td><td>4</td><td>13</td></tr></table>	2	4	13	4	4	29	2	2	11	3	4	20	2	4	13	4	4	29	1	4	8	2	4	13	4	4	29	3	4	20	3	4	20	3	4	20	2	4	13	1	4	8	2	4	13	2	4	13	1	4	8	2	3	12	2	4	13	4	4	29	2	4	13	2	2	11	3	4	20	2	4	13	<table border="1"><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td>O</td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>L</td><td></td><td></td><td></td></tr></table>	L				L								L						O		L				L				L				L						O		L				L				L				L				L				L				L				L				L				L				L				L				<table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>D</td></tr></table>					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D					D	<table border="1"><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>4</td><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>3</td><td>1</td><td>17</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>3</td><td>3</td><td>19</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>5</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>3</td><td>4</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>4</td><td>8</td></tr></table>	1	4	8	1	4	8	1	4	8	3	4	20	1	4	8	1	1	5	1	4	8	1	4	8	4	4	29	3	4	20	1	4	8	3	1	17	1	4	8	3	3	19	1	1	5	1	1	5	1	4	8	1	4	8	1	4	8	1	4	8	3	4	20	3	4	20	1	4	8
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
T																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
		D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	3	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	2	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	4	13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
L																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				D																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
4	4	29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	1	17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	3	19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	1	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
3	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
1	4	8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
<table border="1"><tr><th>Pre</th><th>Post</th></tr><tr><td>L</td><td>3</td><td>0</td></tr><tr><td>T</td><td>11</td><td>2</td></tr><tr><td>O</td><td>5</td><td>1</td></tr><tr><td>D</td><td>4</td><td>20</td></tr></table>	Pre	Post	L	3	0	T	11	2	O	5	1	D	4	20	<table border="1"><tr><th colspan="6">CAMBIOS</th></tr><tr><th colspan="6">Postprueba</th></tr><tr><th>Pre</th><th>L</th><th>T</th><th>O</th><th>D</th><th>suma</th></tr><tr><td>L</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>3</td><td>3</td></tr><tr><td>prue</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>8</td><td>11</td></tr><tr><td>ba</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>4</td><td>4</td></tr><tr><td></td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>20</td><td>23</td></tr></table>	CAMBIOS						Postprueba						Pre	L	T	O	D	suma	L	0	0	0	3	3	prue	0	2	1	8	11	ba	0	0	0	5	5	D	0	0	0	4	4		0	2	1	20	23	<table border="1"><tr><th>Pre</th><th>Post</th></tr><tr><td>L</td><td>16</td><td>4</td></tr><tr><td>T</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>O</td><td>6</td><td>1</td></tr><tr><td>D</td><td>1</td><td>18</td></tr></table>	Pre	Post	L	16	4	T	0	0	O	6	1	D	1	18	<table border="1"><tr><th colspan="6">CAMBIOS</th></tr><tr><th colspan="6">Postprueba</th></tr><tr><th>Pre</th><th>L</th><th>T</th><th>O</th><th>D</th><th>suma</th></tr><tr><td>L</td><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>13</td><td>16</td></tr><tr><td>prue</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>ba</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>4</td><td>6</td></tr><tr><td>D</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td>4</td><td>0</td><td>1</td><td>18</td><td>23</td></tr></table>	CAMBIOS						Postprueba						Pre	L	T	O	D	suma	L	3	0	0	13	16	prue	0	0	0	0	0	ba	1	0	1	4	6	D	0	0	0	1	1		4	0	1	18	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Pre	Post																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
L	3	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
T	11	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
O	5	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
D	4	20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
CAMBIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Postprueba																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Pre	L	T	O	D	suma																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
L	0	0	0	3	3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
prue	0	2	1	8	11																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ba	0	0	0	5	5																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
D	0	0	0	4	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	0	2	1	20	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
Pre	Post																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
L	16	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
T	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
O	6	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
D	1	18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
CAMBIOS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Postprueba																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Pre	L	T	O	D	suma																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
L	3	0	0	13	16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
prue	0	0	0	0	0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ba	1	0	1	4	6																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
D	0	0	0	1	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
	4	0	1	18	23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							

tabla 12

CCH 6° (CON ANALOGÍAS): respuestas a los problemas

PROBLEMA 1			PROBLEMA 2																																																																																																																																										
Preprueba	Postprueba	Cálculos	Preprueba	Postprueba	Cálculos																																																																																																																																								
L		1 4 8			3 4 20																																																																																																																																								
T		3 4 20	O		3 4 20																																																																																																																																								
O		3 4 20	O		3 4 20																																																																																																																																								
T		2 2 11	L		1 1 5																																																																																																																																								
	D	4 4 29	O		3 4 20																																																																																																																																								
	D	3 4 20	L		1 4 8																																																																																																																																								
L		1 4 8		D	4 4 29																																																																																																																																								
O		3 4 20		D	3 4 20																																																																																																																																								
T		2 4 13		D	1 4 8																																																																																																																																								
T		2 4 13		D	1 4 8																																																																																																																																								
L		1 1 5		D	1 4 8																																																																																																																																								
T		2 4 13		D	1 1 5																																																																																																																																								
T		2 4 13		D	1 1 5																																																																																																																																								
O		3 4 20		D	1 4 8																																																																																																																																								
T		4 4 29		D	1 4 8																																																																																																																																								
T		2 4 13		D	1 4 8																																																																																																																																								
O		3 4 20		D	1 4 8																																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pre</th> <th>Post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L</td><td>3</td></tr> <tr><td>T</td><td>7</td></tr> <tr><td>O</td><td>6</td></tr> <tr><td>D</td><td>2</td></tr> <tr><td>suma</td><td>16</td></tr> </tbody> </table>			Pre	Post	L	3	T	7	O	6	D	2	suma	16	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">CAMBIOS</th> </tr> <tr> <th colspan="6">Postprueba</th> </tr> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>T</th> <th>O</th> <th>D</th> <th>suma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pre</td> <td>L</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>prue</td> <td>T</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>ba</td> <td>O</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>6</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td></td> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>16</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>			CAMBIOS						Postprueba							L	T	O	D	suma	Pre	L	1	0	0	2	3	prue	T	0	1	0	6	7	ba	O	0	0	0	6	6		D	0	0	0	2	2			1	1	0	16	18	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pre</th> <th>Post</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>L</td><td>12</td></tr> <tr><td>T</td><td>0</td></tr> <tr><td>O</td><td>5</td></tr> <tr><td>D</td><td>1</td></tr> <tr><td>suma</td><td>15</td></tr> </tbody> </table>			Pre	Post	L	12	T	0	O	5	D	1	suma	15	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">CAMBIOS</th> </tr> <tr> <th colspan="6">Postprueba</th> </tr> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>T</th> <th>O</th> <th>D</th> <th>suma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Pre</td> <td>L</td> <td>3</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>9</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>prue</td> <td>T</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>ba</td> <td>O</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>D</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>15</td> <td>18</td> </tr> </tbody> </table>			CAMBIOS						Postprueba							L	T	O	D	suma	Pre	L	3	0	0	9	12	prue	T	0	0	0	0	0	ba	O	0	0	0	5	5		D	0	0	0	1	1			3	0	0	15	18
Pre	Post																																																																																																																																												
L	3																																																																																																																																												
T	7																																																																																																																																												
O	6																																																																																																																																												
D	2																																																																																																																																												
suma	16																																																																																																																																												
CAMBIOS																																																																																																																																													
Postprueba																																																																																																																																													
	L	T	O	D	suma																																																																																																																																								
Pre	L	1	0	0	2	3																																																																																																																																							
prue	T	0	1	0	6	7																																																																																																																																							
ba	O	0	0	0	6	6																																																																																																																																							
	D	0	0	0	2	2																																																																																																																																							
		1	1	0	16	18																																																																																																																																							
Pre	Post																																																																																																																																												
L	12																																																																																																																																												
T	0																																																																																																																																												
O	5																																																																																																																																												
D	1																																																																																																																																												
suma	15																																																																																																																																												
CAMBIOS																																																																																																																																													
Postprueba																																																																																																																																													
	L	T	O	D	suma																																																																																																																																								
Pre	L	3	0	0	9	12																																																																																																																																							
prue	T	0	0	0	0	0																																																																																																																																							
ba	O	0	0	0	5	5																																																																																																																																							
	D	0	0	0	1	1																																																																																																																																							
		3	0	0	15	18																																																																																																																																							

### XIII.8. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS.

- 1) En cuanto al conocimiento de los conceptos básicos: origen de la variación, variación y evolución como cambio en las proporciones génicas.

Se encuentra que el manejo de la definición de evolución como cambio en proporciones, contra variación y origen de la variación son manejados de diferente manera en los varios niveles escolares. El concepto de evolución como proporción es el mejor manejado (hay diferencias significativas entre las medias para todas las escuelas), mientras que el concepto nuevo y variación tienen medias estadísticamente semejantes.

Estos resultados pueden verse con detalle en las tablas I a XIII del Apéndice III. Resulta notorio que los diferentes tratamientos educativos en el CCH no hicieron variar los resultados en cuanto a estos conceptos, con respecto a otras escuelas.

- 2) Resultados en la solución de los problemas del examen aplicado.

El porcentaje de respuestas darwinianas en el primer problema son diferentes entre la postprueba del CCH con enseñanza tradicional y la postprueba del CCH con enseñanza basada en analogías, siendo significativamente mejores las respuestas en el segundo caso; mientras que el porcentaje de las respuestas darwinianas en el primer problema son iguales en la postprueba del CCH con enseñanza sin analogías, que en la postprueba con analogías; lo que significa que no hay diferencias en la forma de solucionar el primer problema con los diferentes tratamientos educativos aplicados en el CCH.

Igualmente, en el segundo problema, el porcentaje de respuestas darwinianas es igual entre los dos tratamientos del CCH (con y sin analogías).

3. Comparaciones estadísticas en el grado total de conocimiento del concepto de evolución.

- a) En cuanto a la preprueba de la secundaria contra las prepruebas de diversas escuelas, sólo hay diferencias con el CCH, pero no con la ENP ni con la preparatoria privada, lo que significa que estas dos últimas tienen el mismo nivel de conocimiento antes del tratamiento educativo.
- b) Al comparar la preprueba de la ENP contra las de otras escuelas, se encuentra que la única diferencia significativa ocurre con el CCH (preprueba), es decir, el nivel de conocimiento de la evolución en la ENP es menor que el del CCH.
- c) La preparatoria privada presenta un rendimiento menor que el CCH, pero semejante al del primer semestre de la carrera de nutrición en la universidad privada.
- d) Todos los resultados de comparaciones del grado de conocimiento entre las prepruebas aplicadas a cuatro distintos grupos en el CCH son significativamente semejantes.
- e) La secundaria, la ENP y la preparatoria privada juntas son significativamente diferentes a todos los grupos de CCH sin intervención educativa.
- f) Contrariamente a lo que suele pensarse, el turno matutino de la carrera de biología no presenta diferencias significativas con el turno vespertino.
- g) El último semestre de biología que no cursó la materia de evolución tiene los mismos resultados que el último semestre que llevó evolución como materia optativa pero con base en artículos.
- h) Sin embargo, el último semestre que llevó la materia optativa de evolución mediante la lectura de artículos y el grupo del mismo semestre que llevó la materia pero con clase, tiene un promedio significativamente diferente a favor del segundo grupo.

Las tablas 13, 14 y 15 que se muestran a continuación, resumen las pruebas estadísticas aplicadas a los resultados de la primera, segunda y tercera partes del examen aplicado, así como los resultados generales del mismo.

## PREPRUEBAS

	n	NUEVOS (1)				VARIACIÓN (2)				PROPORCIÓN (3)			
		Media	Desv Est			Media	Desv Est			Media	Desv Est		
Secundaria	90	3.12	2.74	280.80	1544.27	3.34	2.40	300.60	1516.64	4.57	2.70	411.30	2528.45
ENP prepa área 2	28	1.82	2.82	50.96	307.46	4.25	2.70	119.00	702.58	4.50	1.88	126.00	662.43
CCH	30	5.33	3.84	159.90	1279.89	4.53	2.73	135.90	831.76	5.13	3.66	153.90	1177.98
Prepa Privada área 2	29	3.76	2.95	109.04	653.66	3.69	2.70	107.01	598.99	4.34	2.02	125.86	660.48
CCH tradicional	21	4.38	4.13	91.98	744.01	3.33	2.97	69.93	409.28	4.86	2.54	102.06	625.04
CCH con analogías	18	4.61	3.24	82.98	561.00	4.17	2.33	75.06	405.29	4.83	3.90	86.94	678.49
CCH sin analogías	23	5.70	3.76	131.10	1058.30	4.39	2.89	100.97	627.00	4.65	3.24	106.95	728.26
Univ privada/1er semes nutrición	14	3.43	3.06	48.02	286.44	3.21	2.49	44.94	224.86	4.43	3.72	62.02	454.65
UNAM biología/1er ingreso matutino	30	5.03	3.38	150.90	1090.33	4.23	2.97	126.90	792.59	5.30	2.69	159.00	1052.55
UNAM biología/1er ingreso vespertino	30	5.47	3.38	164.10	1228.93	4.97	2.71	149.10	954.01	5.47	2.50	164.10	1078.88
UNAM biología/último semestre	11	5.82	4.31	64.02	558.36	5.64	2.34	62.04	404.66	5.09	3.11	55.99	381.71
UNAM biología/con evolución y artículos	9	6.33	3.84	56.97	478.58	4.33	3.24	38.97	252.72	6.33	3.32	56.97	448.80
UNAM biología/con evolución y clase	8	8.75	2.31	70.00	649.85	7.50	3.78	60.00	550.02	9.00	1.93	72.00	674.07
Suma	341			1461	10441			1390	8270			1683	11152
Media		4.2838				4.0775				4.94			
Desviación estándar			3.5078				2.7659				2.89		

Estadístico de prueba:

$$z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}}$$

En donde:

$$\sigma_{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}$$

Estadístico de comparación  
al 95% de probabilidad  
de una distribución normal

1.96

Regla de decisión:

- 1) si valor absoluto de z es menor a 1.96, se acepta que son iguales
- 2) si valor absoluto de z es mayor a 1.96, se acepta que son diferentes

PRUEBA	VALOR DE z	CONCLUSIÓN
(1,2)	0.85	Son iguales: Nuevos = Variación
(1,3)	2.65	Diferentes: Proporción > Nuevos
(2,3)	3.96	Diferentes: Proporción > Variación

tabla 13

Pruebas estadísticas de la primera parte del examen

	n	Media	Desv est	PRUEBA	VALOR DE z	CONCLUSION
% V CCH 6 post trad ..... (1)	21	0.10	0.4045			
% V CCH 6 post con analog... (2)	18	0.33	0.4045	(1,2)	1.7700	Iguales
% 1°D" CCH 6 post trad ..... (3)	21	0.38	0.4865			
% 1°D" CCH 6 post con analog... (4)	18	0.89	0.4865	(3,4)	3.2636	Diferentes
% CA CCH 6 post trad ..... (5)	21	0.11	0.2884			
% CA CCH 6 post con analog... (6)	18	0.07	0.2884	(5,6)	0.4318	Iguales
% CD CCH 6 post trad ... (7)	21	0.38	0.4995			
% CD CCH 6 post con analog... (8)	18	0.59	0.4995	(7,8)	1.3090	Iguales
% V CCH 6 post sin Analog... (9)	23	0.30	0.4638			
% V CCH 6 post con Analog... (10)	18	0.33	0.4638	(9,10)	0.2055	Iguales
% P CCH 6 post sin Analog... (11)	23	0.35	0.4966			
% P CCH 6 post con Analog... (12)	18	0.56	0.4966	(11,12)	1.3436	Iguales
% 1°D" CCH 6 post sin Analog... (13)	23	0.87	0.3264			
% 1°D" CCH 6 post con Analog... (14)	18	0.89	0.3264	(13,14)	0.1947	Iguales
% 2°D" CCH 6 post sin Analog... (15)	23	0.78	0.3985			
% 2°D" CCH 6 post con Analog... (16)	18	0.83	0.3985	(15,16)	0.3987	Iguales
% CA CCH 6 post sin Analog... (17)	23	0.10	0.2816			
% CA CCH 6 post con Analog... (18)	18	0.07	0.2816	(17,18)	0.3385	Iguales
% CD CCH 6 post sin Analog... (19)	23	0.45	0.4999			
% CD CCH 6 post con Analog... (20)	18	0.59	0.4999	(19,20)	0.8900	Iguales
% FC CCH 6 post sin Analog... (21)	23	0.25	0.4107			
% FC CCH 6 post con Analog... (22)	18	0.17	0.4107	(21,22)	0.6189	Iguales

tabla 14 Pruebas estadísticas para la segunda y tercera partes del examen

COMPARACIÓN DEL GRADO DE CONOCIMIENTO PARA TODAS LAS ESCUELAS

	n	Medn	Desv est	PRUEBA	VALOR DE z	CONCLUSION	PRUEBA	VALOR DE z	CONCLUSION
Secundaria prep .... (1)	90	2.71	1.29						
ENP área 2 prep ... (2)	28	2.88	1.29	(1,2)	0.6090	Iguales	(13,14)	1.1636	Iguales
Prepa Privada área 2 prep ... (3)	29	2.89	1.15	(1,3)	0.6312	Iguales			
CCH prep ..... (4)	30	3.77	2.04	(1,4)	2.6734	Diferentes	(15,16)	4.5573	Diferentes
CCH trad prep ... (5)	21	3.53	1.53	(1,5)	2.2740	Diferentes			
CCH 6 con analog prep ... (6)	18	3.63	1.42	(1,6)	2.5466	Diferentes			
CCH 6 sin analog prep ... (7)	23	3.57	2.06	(1,7)	1.9088	Iguales			
U. priv 1er sem nutrición prep ... (8)	14	3.71	1.72	(1,8)	2.0860	Diferentes			
				(2,3)	0.0286	Iguales			
{(1)+(2)+(3)} ... (9)	147	2.78	1.29	(2,4)	1.9994	Diferentes			
{(4)+(5)+(6)+(7)+(8)} ... (10)	106	3.65	1.78	(2,5)	1.5723	Iguales			
				(2,6)	1.8113	Iguales			
				(2,7)	1.3970	Iguales			
				(2,8)	1.5951	Iguales			
UNAM biol 1er ingreso matut prep... (11)	30	4.35	2.52						
UNAM biol 1er ingreso vesp prep.	30	4.74	1.98	(3,1)	1.9601	Diferentes			
				(3,5)	1.5329	Iguales			
				(3,6)	1.7696	Iguales			
UNAM biol último sem pre. . (13)	11	6.46	2.37	(3,7)	1.3673	Iguales			
UNAM biol con evol y art prep (14)	9	5.15	2.61	(3,8)	1.5661	Iguales			
				(4,5)	0.4798	Iguales			
UNAM biol evol y clase pre. (15)	8	9.35	0.86	(4,6)	0.2796	Iguales			
UNAM biol evol y art pre. . (16)	9	5.15	2.61	(4,7)	0.3518	Iguales			
				(4,8)	0.1014	Iguales			
	899 0739								
	277 1739								
	293 2409			(5,6)	0.2115	Iguales			
	517 0274			(5,7)	0.0735	Iguales			
	308 4969			(5,8)	0.3168	Iguales			
	271 463								
	386 4919			(6,7)	0.1102	Iguales			
	231 1566			(6,8)	0.1407	Iguales			
	1179 4882			(7,8)	0.7225	Iguales			
	1744 6819								
				(9,10)	4.2846	Diferentes			
				(11,12)	0.6665	Iguales			

tabla 15 Pruebas estadísticas para los resultados generales del examen

## XIV. DISCUSIÓN

### XIV.1 SOBRE EL DISEÑO DE LA PRUEBA APLICADA.

Antes de iniciar la discusión sobre las respuestas obtenidas en las preguntas planteadas en la prueba que se utilizó como instrumento de evaluación en este trabajo, es importante recordar que dicha prueba pretende evaluar el conocimiento procedimental, y no el declarativo, es decir, la capacidad de resolver problemas de acuerdo con el modelo darwinista. De esta manera, la prueba plantea situaciones de cambio evolutivo diferentes en una gran mayoría a las expuestas en los ejemplos de los textos; además se evitaron lo más posible términos como evolución, selección natural, lucha por la existencia, entre otros, para que los alumnos no dieran definiciones mecánicas. Esta forma de hacer investigación en la enseñanza de la evolución ha sido sugerida también por Jiménez (1994).

En la sección de resultados se señalaron ya aquellas preguntas que ofrecen mayores dificultades a los estudiantes, desde el punto de vista del análisis conceptual. En las prepruebas se encontró que en las preguntas 2, 5 y 8 se obtienen la mayoría de las respuestas darwinianas. En las preguntas 2 y 8 se plantea a los estudiantes la alternativa de que en ciertas circunstancias algunos organismos vivirán y otros morirán, que parece ser bastante clara a aquellos que han tomado cursos de biología, aunque sean elementales. Es muy posible que esta respuesta esté influida por ciertas frases escuchadas en clase y que frecuentemente repiten los estudiantes cuando se les entrevista, como "sólo los más fuertes sobreviven".

La pregunta 5 presenta el ejemplo de *Biston betularia*, de aparente fácil comprensión por los estudiantes, ya que es el típico ejemplo que utilizan los libros de texto (y por tanto los maestros), para dar pruebas de la evolución.

La mayor parte de las concepciones alternativas funcionales (CA) se obtuvieron en la pregunta uno, en donde aunque en su primera parte los estudiantes suelen aseverar que ha habido un cambio en la proporción de individuos con alguna característica de la población, explican este cambio de acuerdo al uso o por necesidad del organismo. Cabe recordar que se han considerado concepciones alternativas aquellas respuestas correctas en las dos primeras opciones, pero con una explicación incorrecta.

Las concepciones disfuncionales o la falta de conocimiento (FC) aparecen con mucha frecuencia en la pregunta 4; como ya se ha mencionado, esta trata de un problema de "la resistencia" a insecticidas, cuya respuesta aparentemente está guiada por el conocimiento ingenuo o popular. Esta pregunta suele contestarse, en su primera parte, como que hay un cambio gradual total en la población; posteriormente los alumnos explican que este cambio es por necesidad y debido a la influencia del medio ambiente. Esta pregunta 4 es un ejemplo de cómo los estudiantes adecuan sus respuestas a lo que propone el léxico cotidiano, ya que ésta es también la respuesta más común en forma de concepciones disfuncionales (FC) en las postpruebas. Lo anterior es una muestra más de que las concepciones alternativas son más persistentes en cuestiones relacionadas con los hechos y fenómenos que los alumnos perciben con frecuencia (Vázquez, 1994), pero a los que dan una interpretación ingenua.



El conocimiento incompleto (CI) es frecuente en la pregunta 3, en la que ante el problema de cómo logran los mamíferos sobrevivir en el frío, los alumnos suelen recurrir a la “necesidad” como generadora de cambios evolutivos, que aunque es una respuesta incorrecta, al mismo tiempo dan la explicación adecuada de que los individuos que ante ciertas condiciones ambientales poseen una cierta variación, son los que sobreviven, lo que hasta cierto punto señala que los estudiantes manejan mejor el concepto de adaptación que el del origen de la variabilidad.

Hasta aquí puede hablarse de que no sólo hay formas comunes alternativas de resolver los problemas acerca de la evolución, sino que aquellos temas más relacionados con situaciones cotidianas tienden a ser descritos con una repetición de patrones ingenuos de pensamiento. Lo anterior indica que el aprendizaje (si es que lo ha habido), de la teoría de la evolución, ha tenido una influencia muy débil en la formación de una cultura biológica, o bien, que las concepciones alternativas están demasiado arraigadas en la mente de los estudiantes.

Casi todas las respuestas correspondientes a las concepciones alternativas ya sean funcionales (CA), disfuncionales (FC) o incompletas (CI), pueden ser categorizadas en lo que muchos autores han denominado como concepciones lamarckistas. Éstas se basan en la idea de cambios individuales en los organismos como respuesta a las condiciones del medio, expresadas en frases como “se acostumbran”, y en ellas se constata una confusión entre “aclimatación”, “estar adaptado como resultado de la supervivencia diferencial” y “adaptarse como un proceso activo en el que el individuo adquiere modificaciones ventajosas y transmisibles a la descendencia” (Jiménez, 1991).

En general, estos patrones de respuestas se repitieron en las postpruebas, sin importar el tipo de tratamiento educativo que se haya dado. Cabe mencionar que en las postpruebas se cambiaron los ejemplos en cuanto a los organismos, pero que en contenido, los problemas evolutivos siguieron siendo los mismos que en la preprueba. La postprueba utilizada puede consultarse en el apéndice de esta tesis.

En la postprueba, las respuestas de tipo darwiniano se suelen presentar en las mismas preguntas que en la preprueba, lo mismo sucede con las concepciones alternativas (CA) y la falta de conocimiento (FC). Sin embargo, en el caso del conocimiento incompleto, éste pasa de ser muy frecuente en la pregunta 3 en la preprueba, a presentarse en la postprueba en muy diferente número de preguntas. Esta situación resulta particularmente interesante pues, como se mostrará posteriormente, el conocimiento incompleto tiende a aumentar en las postpruebas y entre diferentes preguntas, lo que no ocurre cuando la enseñanza se apoya en el uso de analogías.

#### XIV.2 DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS

Cuando se aplicaron las prepruebas en los tres grados de la secundaria, se encontró que el promedio de conocimiento general de la evolución era de 2.71 (escala de 10) (Fig.7) y sin diferencias significativas entre los tres grados, por lo que se decidió unificar los tres resultados, con objeto de facilitar las comparaciones con otras escuelas; este promedio de 2.71 es también muy semejante al de la ENP (2.88) y al de la preparatoria privada (2.89). Es notable que estos promedios sean tan bajos, a pesar de que estos grupos habían tenido instrucción previa en el tema de la teoría de la evolución. En secundaria los tres grupos habían recibido clase sobre este tema

(por 6 horas) antes de la preprueba (los estudiantes de primero la habían recibido dos meses antes, mientras que los estudiantes de segundo y tercero de secundaria la habían recibido uno y dos años antes respectivamente).

El grupo de la ENP del área químico- biológica había llevado un curso sobre evolución de ocho horas en segundo año de preparatoria (su contenido puede revisarse en el apéndice) y en el momento de aplicar la prueba se encontraban cursando la quinta unidad de la materia de Biología V, unidad que precisamente se refiere al tema evolución-diversidad-ecología. A pesar de todo ello, pareciera que estos grupos de enseñanza media y superior tienen un conocimiento procedimental muy bajo de la evolución, es decir, no son capaces de interpretar nuevas situaciones de acuerdo con el modelo darwinista.

En el caso del CCH Oriente, el promedio obtenido (3.63) es tan sólo ligeramente más alto que el de las escuelas anteriormente citadas, sin embargo, se obtienen diferencias significativas al comparar los promedios de la secundaria, la ENP y la preparatoria privada juntas ( $n=147$ ), contra todas las prepruebas del CCH ( $n=106$ ), ( $z' = 4.28$ ,  $z_{0.95} = 1.96$ ), es decir, el CCH tiene un promedio significativamente mayor, lo que posiblemente se debe a que los estudiantes habían cursado ya la asignatura de Biología I que incluye una segunda unidad con un contenido extenso de genética, Biología II con una primera unidad sobre genética y una segunda unidad sobre evolución (unidad que incluye temas como Lamarck, Darwin, la síntesis evolutiva, el equilibrio puntuado, el neutralismo y la especiación), y Biología III cuya primera unidad se refiere a genética.

Pese a su mayor promedio, los bajos resultados obtenidos en el CCH muestran la poca influencia que han tenido los cursos previos de evolución, e incluso de genética, sobre el manejo general de la teoría darwiniana. Esto mismo ocurre en los resultados obtenidos de las prepruebas aplicadas a los jóvenes que ingresaron a la carrera de biología en el semestre de enero de 1998, cuyo promedio es de 4.74 para el curso vespertino y de 4.35 para el matutino. No se encontraron diferencias significativas entre los rendimientos promedio de los estudiantes de los dos turnos que ingresan a la carrera de biología ( $z' = 0.66$ ,  $z_{0.95} = 1.96$ ). Posiblemente este promedio ligeramente mayor que en el CCH se deba a que los estudiantes provenientes de las preparatorias que ingresaron a la carrera de biología pudieran tener un mayor interés por los temas de evolución (y los hayan estudiado por su parte) que sus compañeros de preparatoria que siguieron carreras diferentes a la biología.

Aunque los promedios antes mencionados son muy bajos, estos no mejoran sustancialmente al terminar la carrera de biología, ya que los alumnos que no habían cursado evolución como materia optativa alcanzaron cuando mucho un promedio de 6.46, mismo que asciende a 9.35 después de haber cursado evolución como materia optativa. En otros espacios he mencionado lo sorprendente que resultó haber encontrado un promedio de 6.45 muy semejante al del CCH (7.59) cuando se había cursado evolución por medio de la lectura de artículos (es decir, sin cátedra) que además tiende a ser un método "didáctico" muy extendido en la carrera de biología. Estos resultados pueden revisarse en la tabla XII donde además se observa que no hay diferencias significativas al comparar el promedio de la postprueba para el grupo del CCH en el que se dio clase con apoyo de analogías (7.59), contra el rendimiento de los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la UNAM que cursaron evolución con artículos (6.45), ( $z' = 1.41$ , cuando  $z_{0.95} = 1.69$ ).

Es notorio encontrar en la Fig. 8 promedios tan bajos y parecidos en las postpruebas de la secundaria y el CCH (6.60 y 6.84 respectivamente), en el primer caso después de dar la clase sin proporcionar antecedentes de genética, y en el segundo, después de haber dado clase sin el apoyo de analogías, pero con la metodología propuesta en este trabajo. Estos resultados indican que en ambos niveles educativos puede mejorarse la comprensión de la evolución con el tratamiento de enseñanza propuesto, aunque sin que se alcance el promedio de 9.35 de los pasantes de biología que han cursado evolución con cátedra.

En cuanto al rendimiento general, los mejores resultados en las postpruebas se obtienen en la secundaria cuando se han dado antecedentes de genética (7.86) y en el CCH cuando se han utilizado analogías (7.59). Dichas diferencias no son significativas ( $z' = 0.50$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ ) y los resultados, aunque inferiores al máximo de 9.35 de los pasantes, superan al 6.46 del último semestre de la carrera que no ha cursado evolución.

Los resultados anteriores llevan a varias reflexiones; en primer lugar, se ha dicho que para los estudiantes que se encuentran en etapa de pensamiento concreto, como los de secundaria, es muy difícil la comprensión de la evolución por selección natural (Lawson y Worsnop, 1992). Aunque en este trabajo no se determinó si los estudiantes de secundaria ya habían superado esta etapa, llama la atención que la secundaria llegue a asemejarse en resultados al grupo del CCH que recibió enseñanza con analogías (7.86 vs. 7.59). En la tabla IX se ve que estas diferencias no son significativas ( $z' = 0.50$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ ). Es muy posible que estos resultados en la secundaria se deban a que, aunque estos jóvenes pudieran estar todavía en etapa de operaciones concretas, al haber llevado menos cursos de biología que los del CCH, han tenido menos oportunidades de ser "contaminados" con algunas ideas erróneas de sus profesores. Esto se infiere de que, en las entrevistas, los estudiantes de secundaria no usaban ciertas frases que los alumnos del CCH repetían frecuentemente como "la lucha por la existencia", de las que hacen uso inmediato cuando se les pide que resuelvan un problema de tema evolutivo y que más bien parece que les impide razonar. Ante esta situación, Dreyfus y Jungwirth (1989) sugieren considerar que los estudiantes están involucrados en el ambiente escolar en el que éste actúa como empresa social, en la que ciertos refuerzos positivos y negativos por parte del maestro causan la fijación de conocimiento no funcional. Los estudiantes "manejan" ese conocimiento porque el maestro lo ha vuelto útil en el contexto social de la clase, y por tanto, estos autores sugieren que este conocimiento no funcional debiera ser diagnosticado antes de que se vuelva socialmente funcional.

En la introducción de esta tesis se habló de la conocida dificultad que tienen los estudiantes para manejar los conceptos de variación, del origen de la misma y de la evolución como proporciones cambiantes de individuos con caracteres discretos (Bishop y Anderson 1990), por lo que se les dio especial cabida en la primera parte de la prueba aplicada. Ahora bien, si se analizan los resultados obtenidos de esta sección de la prueba, aunque en un principio parece que los estudiantes del CCH manejan mejor estos tres conceptos en la preprueba que los estudiantes de la secundaria (ver Fig. 9a), una vez que los estudiantes han recibido la enseñanza propuesta, son los de secundaria los que mejor comprenden el concepto de variación, más aun que los que han terminado la carrera de biología. En la tabla XII puede verse que el resultado promedio para variación es significativamente mayor para la secundaria (8.44) que para el último semestre de la facultad (5.64),  $z' = 3.14$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ . Demastes *et al.* (1995) encuentran también que el concepto de variación es el mejor manejado después de una intervención educativa, aunque esto no ocurrió en el CCH.

Curiosamente, la variación es el concepto peor manejado cuando se ha cursado evolución por medio de artículos. Es importante subrayar que en el grupo de la Facultad de Ciencias al que se enseñó con esta modalidad, los estudiantes ven a la evolución (según sus respuestas a las preguntas de la prueba) como un proceso que modifica a la especie como un todo, en lugar de considerar a la variación como una condición que ocurre entre algunos de los individuos de una población; de aquí que se hace hincapié en que debería evitarse la enseñanza de la evolución mediante la lectura de artículos sin las debidas explicaciones por parte del maestro, ya que ello parece causar una regresión al conocimiento que se manejaba al iniciar la carrera. En la Figura 9a se observa cómo el concepto de variación tiene un promedio de 4.23 al iniciar la carrera, y de 4.33 al estudiar con artículos, contra 7.50 cuando se ha enseñado la teoría de la evolución con clases. La lectura de artículos es un recurso de apoyo, pero siempre y cuando haya el nivel para comprender la literatura, pues ¿de qué sirve dar a leer a los estudiantes un artículo de Kimura, por ejemplo, si aún no comprenden en qué consiste la selección natural?

Bishop y Anderson (1985) ya han reportado que el concepto que hay que revisar con mayor cuidado de los tres antes mencionados, es el de la evolución como el cambio en la proporción de individuos con caracteres discretos, porque suele haber una dificultad para entender que estos cambios no se dan en la población como un todo, pues los estudiantes creen que con el tiempo y en un solo proceso, el ambiente hace que las características de la especie cambien, en lugar de que los causantes sean los procesos del azar y la selección natural.

Por lo que respecta a los problemas de la segunda parte del examen, en la Fig. 9b se nota que éstos se responden mejor en las postpruebas tanto de la secundaria como del CCH, y que los estudiantes de la facultad que llevaron evolución con clases los resuelven al 100%, lo que no sucede cuando la clase se basa en lecturas, al grado de que los alumnos tan sólo logran un porcentaje de respuestas equivalente al del primer semestre de ingreso a la carrera. Por ejemplo, el porcentaje de respuestas acertadas al segundo problema de la prueba en el grupo del primer semestre de la carrera y en el grupo que llevó evolución con artículos puede apreciarse en la tabla XIII, donde además se muestra que no hay diferencias significativas entre ambos ( $z' = 0.14; z_{0.95} = 1.96$ )

Por otra parte, en la Fig. 10 se nota que con el método de enseñanza empleado, en el problema sobre los antibióticos (o sobre el efecto de un insecticida, en la preprueba) se logran reducir las ideas lamarckianas, que pueden atribuirse a la influencia del lenguaje popular que se refiere a que los microorganismos o los insectos “se hacen resistentes” a los antibióticos o a los insecticidas. Si además se revisan las tablas de respuestas a los problemas, como por ejemplo la tabla 12, se encuentra que en el CCH tienden a reducirse las ideas lamarckianas en los problemas, sobre todo cuando se ha dado enseñanza basada en analogías; y es importante notar que en el segundo problema hay una disminución de 9 respuestas lamarckianas entre la preprueba y la postprueba, cuando con el método tradicional esta disminución es sólo de 5.

Lo que sucede cuando se da el tema con enseñanza tradicional es que en las postpruebas hay más cambio de las ideas lamarckianas a las teleológicas, que a las darwinianas, porque posiblemente al recibir clases los estudiantes logren rechazar sus ideas originales, pero no las puedan sustituir por ideas darwinianas, sino por una explicación alternativa de que fue el ambiente el provocador del cambio evolutivo. Greene, (1990) encuentra también una gran abundancia de explicaciones teleológicas en preguntas semejantes a las de este trabajo, y por su parte Jensen y Finley (1996) muestran que es más fácil disminuir las explicaciones teleológicas

que las lamarckianas después de la instrucción, tendencia que también se muestra en la tabla 11. Por ejemplo, en el CCH donde se enseñó sin analogías, las respuestas teleológicas disminuyen en 9 entre pre y postprueba, mientras que las lamarckianas disminuyen en tres.

Lo más interesante es que cuando se enseñó con analogías en el CCH, hubo una gran disminución de respuestas lamarckianas y un aumento proporcional en respuestas darwinianas para el primer problema; además de que también disminuyeron las respuestas ortogénicas y teleológicas. Settlage (1994) encontró resultados semejantes.

Hay que hacer notar además que en la secundaria, transcurridos uno y dos meses de la primera postprueba, hay una tendencia al aumento en las respuestas tanto lamarckianas como teleológicas, mientras que con el tiempo hay una disminución de las respuestas darwinianas (ver tabla 9b).

En la secundaria ocurre además, que al mes de aplicada la postprueba, aumentan ligeramente las respuestas lamarckianas en comparación con las obtenidas inmediatamente después de dar el tratamiento educativo, lo que parece indicar que a pesar de que los estudiantes de secundaria modifican más fácilmente su pensamiento que los jóvenes del CCH, mantienen más creencias no científicas y a la larga son menos capaces de abandonarlas. Lawson y Worsnop (1992) consideran que sólo el pensamiento formal permite que los estudiantes modifiquen sus creencias en forma persistente. Cuando se revisaron los resultados un mes después de haber aplicado la postprueba en el CCH en el grupo en el que se enseñó con analogías se encontró que al igual que en la secundaria, se redujeron ligeramente las respuestas darwinianas en ambos problemas y que hubo una tendencia al aumento de las teleológicas. Esto puede revisarse en la tabla V del apéndice; donde sin embargo, se muestra que no hay cambios significativos entre la cantidad de concepciones darwinianas entre la postprueba inmediata y la aplicada un mes después. ( $z' = 0.82$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ ); pero si hay cambios significativos en el promedio general obtenido en los diferentes momentos ( $z' = 2.20$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ ).

Por otra parte, quisiera subrayar la dificultad de resolver los problemas sobre antibióticos (o DDT), incluso en los alumnos que ingresan a la carrera. Es particularmente notable que en la preparatoria privada ningún alumno los resuelva correctamente, lo que podría atribuirse en parte al ambiente religioso de esta escuela. Al respecto, Dreyfus (1989) ha mostrado que el uso de ciertas palabras por parte del maestro (por ejemplo con una connotación religiosa), puede generar concepciones alternativas en los alumnos. Por el contrario, en el último semestre de la carrera en donde se cursó evolución, nadie contesta equivocadamente los problemas, lo que significa que la carrera ha dado a los estudiantes suficiente criterio para resolver problemas que cotidianamente se abordan de acuerdo a concepciones ingenuas.

#### XIV.3 DISCUSIÓN SOBRE LA METODOLOGÍA SEGUIDA EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN

Jensen y Finley (1996) mencionan que la rapidez e intensidad del cambio conceptual depende de factores como las estrategias de instrucción y la naturaleza del contenido que se pretende enseñar. Es por ello que una parte importante de este trabajo ha sido el diseño de una metodología de enseñanza de la teoría de la evolución en el nivel medio superior. Dicha metodología puede verse con detalle en el inciso XII.2.

La parte central en el diseño de esta metodología era encontrar los mejores recursos didácticos para lograr la modificación de las concepciones alternativas sobre la evolución; de esa manera, se siguieron las muy variadas sugerencias de los expertos en enseñanza de las ciencias como Thagard (1992), Tyson, Venville, Harrison y Treagust (1997), Treagust, Harrison y Venville (1996), Dagher (1994,1997), Beeth (1998), Lawson y Worsnop (1992) y otros.

En 1979 Brumby había mostrado que las ideas previas de tipo lamarckiano impiden la adquisición del pensamiento darwiniano. Numerosos artículos se citan en el estudio de Brumby, en los que se señala que los estudiantes tienden a ser lamarckianos, a pesar de tener suficientes antecedentes de cursos de biología. Esto mismo se encontró en los estudios previos (prepruebas) realizados con los estudiantes del CCH. Por eso es que en el marco del modelo de Posner, la metodología que éste propone y en la que se busca que los alumnos sientan insatisfacción con sus conceptos previos se inició explicando a los estudiantes las ideas de Lamarck lo que, como ha sido demostrado por Jensen y Finley (1996), no promueve la generación de ideas incorrectas en los estudiantes. Sin embargo, cabe señalar que algunos maestros tienden a extender demasiado el tema de Lamarck, con lo cual restan tiempo de clase a la teoría darwiniana y con ello dejan afianzadas a los estudiantes sus propias explicaciones lamarckianas, o bien la idea falsa de un antagonismo radical entre Lamarck y Darwin.

Respecto a esta insatisfacción con los conceptos previos, hay que mencionar que se trata de una estrategia difícil de manejar y más aún, de llevar a un buen fin. Por ejemplo, Demastes, Settlage y Good (1995) encontraron que ni siquiera al lograrla, se llega al cambio de ideas originales por las científicas. Por otro lado, Treagust (1996) opina que al enfrentar a los estudiantes con ideas opuestas a las suyas, lo que se logra no es un cambio de una concepción por otra, sino un mayor uso de la concepción científica, que después del conflicto conceptual tendrá más sentido para el estudiante. Pero lo que sí es un hecho, es que mientras mejor sea la nueva alternativa que se le presenta al alumno en términos de exactitud y consistencia, es más probable que se logre el cambio conceptual, ya que los datos más creíbles son menos vulnerables al rechazo, y los datos menos ambiguos, junto con las múltiples demostraciones, son menos susceptibles a ser interpretados de manera errónea. Sin embargo, Vosniadou (1994) opina que la instrucción basada en la presentación de datos anómalos (para el estudiante) no puede por definición llevar al cambio conceptual, porque no da a los estudiantes toda la información que éstos necesitan para revisar sus propias teorías ingenuas. Cuando se da instrucción de este estilo, pero sin abordar y analizar las presuposiciones del estudiante, éste sólo llega a adquirir información inconsistente, porque únicamente se le presenta información tendiente a evitar las ideas previas (como cuando se le enfrenta a las ideas de Lamarck). Además, como dice Moreira (1994), el conflicto cognitivo, por más crucial que sea, no parece ser suficiente para rechazar definitivamente una concepción alternativa, porque según Pozo (1998), los alumnos pueden siempre proponer hipótesis auxiliares para salvar sus teorías implícitas. Hay que recordar también, que las estrategias de conflicto, a pesar de estar aparentemente basadas en un constructo clave de la teoría de Piaget, no representan la visión piagetiana de cambio<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> El cambio piagetiano es estructural (relativo a operaciones cognitivas), no conceptual (relativo a conceptos) (Moreira, 1994)

Otra tarea dentro de la metodología de este trabajo, fue buscar la inteligibilidad del nuevo concepto, y en este sentido, se emplearon gran número de alternativas, como hacer que los propios estudiantes expliquen con sus palabras lo que entendieron (Treagust, Harrison y Venville, 1996); con herramientas metacognitivas (Beeth, 1998), y hacer que los estudiantes analizaran sus respuestas a los problemas planteados por el maestro; pero sobre todo, con el empleo de los métodos de abstracción, dentro de los cuales están las analogías, cuya efectividad potencial se discutió con detalle en el capítulo VI.

Jiménez (1992) sugiere que la manera de comprobar si los estudiantes verdaderamente dominan los conceptos, es además de hacer hincapié en ellos, es trabajar con ejemplos, pues opina que los maestros tienden a valorar solamente fragmentos de información, es decir, ideas incompletas y memorísticas, (como sucedió con el grupo en que se siguió el método de enseñanza tradicional), en lugar del uso o la aplicación del conocimiento. Se observó que los maestros ponen atención en frases ya hechas y no en la explicación que el alumno pueda dar a un fenómeno. El trabajo por medio de problemas, de preferencia ilustrados y (aunque resueltos individualmente), revisados en forma grupal, resulta ser una metodología que permite al estudiante comprender la plausibilidad de los nuevos conceptos.

Por medio del seguimiento de la forma en que evoluciona el pensamiento de los estudiantes del CCH que se ha mostrado en las Figuras 5 y 6, se logró ver lo que ya antes Settlage (1994) había observado, y que es la alta frecuencia de respuestas que se refieren a la explicación de la evolución de los seres vivos como un cambio para adaptarse, causado por mutaciones que llevan a sobrevivir y producido por el uso de ciertos órganos o funciones.

La observación continua del cambio del pensamiento de los estudiantes fue muy importante para este trabajo, ya que la mayor parte de los estudios empíricos sobre la enseñanza de la evolución son escuetos al respecto. Por otro lado, muchos autores consideran que en sus investigaciones miden el estatus del pensamiento de los estudiantes, cuando en realidad lo que hacen es únicamente discutir el modelo de Posner como marco teórico. Lo anterior se remedió en este trabajo haciendo entrevistas continuas a los alumnos, cuyos resultados se presentan en las gráficas 5 y 6. Al respecto, también se siguió la recomendación de Hewson y Thorley (1989) de medir el cambio conceptual, pidiendo a los alumnos que hicieran comentarios descriptivos acerca de sus propias concepciones.

Como parte de la estrategia de enseñanza, continuamente se plantearon problemas, intentando con ello aumentar la capacidad de los estudiantes para distinguir cuáles son las conceptualizaciones adecuadas para un contexto determinado, y buscar poner menos énfasis en el cambio del repertorio de las conceptualizaciones de los estudiantes, tal como lo sugiere Linder (1993).

Otro punto positivo que hay que recalcar en la metodología seguida es la enseñanza basada en una contextualización histórica del conocimiento. Scharmann (1992) ha sugerido que se integren más las teorías científicas y su desarrollo histórico con la instrucción y enseñanza en ciencia, lo que Jensen y Finley (1996) llevaron a la práctica, con buenos resultados en el aprendizaje de la evolución por medio del empleo de materiales históricos en preparatoria. La tesis de estos autores es que si la instrucción recapitula eventos que ocurrieron en el desarrollo de la teoría darwiniana, los estudiantes reemplazarán sus concepciones iniciales por concepciones más darwinianas.

Para llevar a cabo estas ideas en la práctica, se tomaron en cuenta las sugerencias de Monk y Osborne (1993), quienes presentan toda una estrategia para la enseñanza con enfoque histórico, como iniciar las clases con lo que se pensaba en el pasado acerca de un cierto fenómeno; informar enseguida cómo era el ambiente histórico en el que surgió cierta idea y qué pensaban los científicos al respecto; después se hace una exploración de cómo surgió la idea y finalmente se presenta una breve cronología. Monk y Osborne mencionan que es importante comparar el concepto antiguo con el actual, con lo que el estudiante no sólo conocerá mejor el fenómeno a estudiar, sino también se percatará de que la gente puede interpretar los hechos de manera diferente; además comprenderá cómo pensaba la gente en el contexto histórico en el que se confronta el fenómeno. Al seguir esta metodología es también muy importante ir diferenciando los términos fenómeno y explicación (Zohar, 1998), que los alumnos tienden a confundir.

Por último, como parte de la metodología de enseñanza seguida en este trabajo hay que resaltar el uso de analogías para promover la inteligibilidad de los conceptos que resultan anómalos a los estudiantes (Chinn y Brewer, 1998). Podría aducirse que el uso de analogías no elevó sustancialmente el rendimiento de los estudiantes; sin embargo, al trabajar en grupo y hacer que éstos explicaran las analogías que el maestro les había presentado, fue posible notar un mejor dominio explicativo de conceptos complejos como selección natural, gradualismo, variación, etc.

#### XIV.4 DISCUSIÓN SOBRE LA METODOLOGÍA SEGUIDA PARA BUSCAR EL CAMBIO CONCEPTUAL

Hay autores que miden el cambio conceptual en el aprendizaje de la teoría evolutiva por el aumento de concepciones darwinianas entre pre y postpruebas; sin embargo, en la práctica este criterio resulta ser una visión superficial de la idea del cambio conceptual, ya que si se considera que las ideas de los estudiantes están compuestas por varios tipos de concepciones, como son las alternativas o ingenuas, las no funcionales o erróneas, y las debidas a la falta de conocimiento o al conocimiento incompleto, habrá que considerar en cuáles de estas componentes del pensamiento es que se está buscando el cambio conceptual al aplicar una determinada metodología de enseñanza.

El trabajo práctico realizado en esta tesis muestra que el cambio conceptual debe buscarse en las ideas disfuncionales del estudiante, dado que son modificables y que de persistir son fuente de errores posteriores. El conocimiento incompleto puede simplemente suplirse con proporcionar al estudiante información (correcta o errónea según el método de instrucción y el instructor) que podrá incrementarse con el tiempo o cuando se cursa una carrera, en este caso, la de biología. Pero es sobre el conocimiento incorrecto o disfuncional (FC) (que en ocasiones puede manifestarse como falta de conocimiento), donde debería incidir la enseñanza tendiente al cambio conceptual. Para ello, no hay más que partir de un análisis profundo de las concepciones de los estudiantes como el llevado a cabo en este trabajo, con las dificultades operativas que esto pueda significar en el contexto del aula; pero sólo así podrá darse el primer paso hacia el cambio conceptual, pues como ya se dijo, éste no ocurre sobre cualquier tipo de concepción. En este sentido puede decirse que el cambio de tipo *intercambio* deberá ocurrir sobre las concepciones erróneas y partiendo del conflicto cognitivo, mientras que el cambio del tipo *captura* podrá buscarse sobre las concepciones alternativas.



El conocimiento incompleto, por otro lado, será resuelta por métodos de enseñanza como el propuesto en este trabajo, basado en facilitar la inteligibilidad de las nuevas concepciones, de acuerdo a la naturaleza del nuevo material a aprender y de los antecedentes académicos y las capacidades cognitivas de los estudiantes.

Para Hewson (1989), el modelo de aprendizaje como cambio conceptual pretende incluir tanto la *captura, como la modificación sustancial de las ideas, o intercambio*; y aunque en los últimos años el cambio conceptual se ha identificado sólo con el intercambio, lo importante es el reconocimiento de que el aprendizaje significativo puede tener lugar de diversas formas y sobre distintos tipos de concepciones. Y si bien no se puede hablar de un único modelo eficaz de instrucción, ya que son necesarios diversos enfoques metodológicos para hacer frente a diferentes necesidades y a las variadas situaciones que se presentan en el aula, tampoco parece ser cierto que el proceso de construcción de nuevas ideas sea independiente de la forma de instrucción. Esto, como lo señala Hewson (1989) puede ser así para los estudiantes más capaces, o procedentes de ambientes con más estímulos, pero no para la mayoría de los alumnos, que hasta ahora se limitan a memorizar muchos términos y fórmulas científicas sin ser capaces de aplicarlos a la interpretación de la realidad.

Considero además que dentro de las ideas que tiene el que aprende, las que son verdaderamente alternativas (ver a Abimbola, 1986, para la defensa de esta terminología) son "imborrables", por lo que es casi imposible cambiarlas, salvo quizá en los casos en que el que aprende se convierta en experto en un tema científico dado. En este sentido me parece más realista la visión de Linder (1993) y Moreira (1994) de que no puede haber intercambio conceptual, sino cuando mucho captura conceptual en las concepciones alternativas, a través de metodologías que permitan al aprendiz darse cuenta que sus ideas no son apropiadas en ciertos contextos. Esta manera de considerar a las concepciones de los estudiantes lleva a pensar en posteriores modificaciones a los exámenes, de manera que los hubiera medidores de conocimiento incompleto, del pensamiento alternativo y de los verdaderos errores conceptuales sobre los temas científicos. La práctica educativa ha mostrado desde hace algún tiempo que lo más valioso para el aprendizaje es la eliminación de la ignorancia, lo que preferentemente se logra a través de la memorización. Esto explica por qué el conocimiento científico no parece ser acumulable en los estudiantes, a menos de que continúen preparándose en algún campo de la ciencia, o bien hasta que se enfrenten a la insatisfacción con sus propias concepciones mediante un texto adecuado o un maestro comprometido.

#### XIV.5 DISCUSIÓN SOBRE LOS RESULTADOS DEL SEGUIMIENTO CONCEPTUAL.

La literatura acerca del cambio conceptual no es clara ni está unificada en lo que a la medición de este proceso respecta, por ello es que la propuesta de Jensen y Finley (1995) de hacer el seguimiento conceptual no sólo es novedosa sino también útil.

Gracias a esta técnica es que se pudo llegar a los resultados que a continuación se exponen:

Con la metodología de enseñanza aplicada, en el CCH aumenta significativamente (respecto a las prepruebas) el conocimiento darwiniano (CD) cuando se ha dado clase con el apoyo de analogías (tabla VI), las concepciones alternativas se conservan casi constantes en todos los

niveles educativos, y aunque son menores al terminar la carrera de biología, nunca se llegan a eliminar por completo. Como ya se ha dicho, estas concepciones son persistentes debido a su simplicidad y sobre todo porque han sido construidas significativamente.

Hay que mencionar también la notable ganancia en concepciones darwininas en la secundaria cuando se dio clase con antecedentes de genética. Dicha ganancia es del 292.32% de la preprueba a la postprueba. Es importante hacer notar además, una disminución de las concepciones erróneas o de falta de conocimiento de -84.81% y una disminución de las concepciones alternativas de -53.70%. En la Fig. 12 puede observarse que estos cambios entre prepruebas y postpruebas sobrepasan en mucho a los obtenidos en el mejor de los resultados del CCH, que es cuando se enseñó con analogías, desde luego como recurso didáctico, y no como sustitución del conocimiento.

El conocimiento no funcional ha sido considerado por Dreyfus (1989) no sólo inútil sino dañino, ya que puede actuar como una barrera al aprendizaje posterior y como un obstáculo epistemológico. Quisiera aclarar en este punto, que la metodología de análisis del seguimiento conceptual utilizada en este trabajo aún no permite distinguir si las llamadas concepciones erróneas (FC) o falta de conocimiento se refieren particularmente a cada una de estas situaciones. A pesar de esto, considero que ya sea que se trate de errores conceptuales o de falta de conocimiento, deberán ser tratadas didácticamente en conjunto, ya que la falta de conocimiento puede ser fuente de errores conceptuales. Aun así, durante la enseñanza, al abordar cualquiera de estas dos posibilidades, el maestro deberá buscar evitar que se generen concepciones erróneas o bien, intercambiar las ya existentes por las correctas, cuando se pretenda eliminar la falta de conocimiento. Sin embargo, sería conveniente afinar la metodología para poder distinguir entre ambos tipos de concepciones.

Cabe recordar que en las postpruebas de la secundaria se encontró una gran disminución del conocimiento erróneo, lo que por un lado pone en duda la idea de que los jóvenes de secundaria no pueden asimilar el conocimiento de la evolución por selección natural, y por otro, refuerza la idea de que al subsanar adecuadamente la falta de conocimiento, el maestro tiene la gran responsabilidad de evitar la construcción de concepciones erróneas.

El conocimiento darwiniano alcanzó su promedio más alto con los alumnos que habían terminado la carrera y que habían cursado evolución como materia optativa. En ese grupo ya no se encontraron concepciones incorrectas ni falta de conocimiento y por otra parte, el conocimiento incompleto es prácticamente nulo. Esto puede observarse con detalle en la serie de Figs. 11. Greene(1990) dice al respecto, que los alumnos tienen dificultades con el tema de la evolución porque para comprenderlo se requiere que sus modelos internos predigan exitosamente y expliquen los modelos del mundo externo, lo que aparentemente se logra hasta que se ha terminado la carrera de biología.

Quisiera recalcar los inesperados resultados obtenidos al evaluar el conocimiento incompleto (CI), ya que éste parece aumentar en las postpruebas (ver Fig. 12). La impresión que dan estos resultados es que a raíz de la confrontación de las concepciones erróneas y de las alternativas con los hechos científicos (a partir de una metodología adecuada), el alumno queda con ciertos faltantes de conocimiento. Recordemos que estas concepciones incompletas se detectan cuando el alumno, ante un problema, da una respuesta inicial incorrecta pero con una

explicación correcta. Es decir, tiene clara la explicación de cómo ocurre un cierto fenómeno, pero aún carece del conocimiento como para explicar su causa. Por ejemplo, puede decir que un cambio ocurre por necesidad, pero explicar que hay supervivencia diferencial en aquellos individuos que poseen dicho cambio.

A pesar de lo anteriormente explicado, en el análisis estadístico se encuentra que no hay un aumento significativo en el conocimiento incompleto (CI) (ver tabla 3b), cuando se ha enseñado con el apoyo de analogías. ( $z' = 0.55$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ )

Por último, cabe mencionar que la utilización de las analogías como complemento de la enseñanza en este trabajo, arroja resultados que se suman a todos aquellos que muestran que esta técnica permite una mejor comprensión de los conceptos, pero sin que pueda precisarse en qué manera contribuyen al aprendizaje. Lo que es un hecho es que cuando se usaron analogías para la enseñanza, se encontraron diferencias significativas en el aumento de las concepciones darwinianas en relación con los otros métodos empleados. ( $z' = 3.23$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ ). Igualmente, las concepciones alternativas se reducen significativamente sólo con el uso de analogías ( $z' = 2.33$ ;  $z_{0.95} = 1.96$ )

La disminución de las concepciones erróneas o la falta de conocimiento (FC) es significativa con el método de enseñanza aplicado, ya sea que se usen o no analogías, sin embargo, este tipo de concepciones no se reducen significativamente con el método tradicional. Esto parecería indicar que el conocimiento erróneo puede reducirse con cualquier método que implique la insatisfacción del alumno con sus propias concepciones. Aunque hay que decir que la reducción de las concepciones erróneas (FC) fue mayor con analogías que sin ellas.

Chinn y Brewer (1993) han señalado que las analogías no pueden provocar un cambio conceptual radical (que equivaldría al intercambio de Hewson y Thorley), mas yo añadiría que esto sí ocurre o debería ocurrir, en el caso de las concepciones erróneas. Lo que es claro en la práctica educativa, es que las analogías ayudan a que los estudiantes manejen con mayor seguridad la terminología relativa a la teoría de la evolución y a aumentar su interés por un tema, además de que contribuyen notablemente a aumentar la inteligibilidad y la plausibilidad de los nuevos conceptos. También podría afirmar que una buena analogía puede funcionar como motivador al aprendizaje.

Sin embargo, para que el papel de las analogías pueda ser correctamente evaluado, será necesario ampliar el paradigma de cambio conceptual e incluir en él además de los referentes al aprendizaje, aspectos afectivos y creativos.

Con esta nueva visión de los variados componentes de las concepciones de los estudiantes, el proceso de cambio conceptual dependerá en gran parte de la forma de instrucción, ya que cada componente de las concepciones previas requerirá diferentes tratamientos: las concepciones incompletas deberán ampliarse con mayor información, las concepciones erróneas podrán abordarse con demostraciones, trabajos prácticos, discusiones, etc.; y en cuanto a las concepciones alternativas, se buscará que el alumno las identifique y las sepa hacer coexistir con la concepción científica.

## XIV.6 CONSIDERACIONES FINALES

Aunque en este trabajo se ha encontrado la importancia que tiene en el aprendizaje de las ciencias lograr la insatisfacción de los estudiantes con sus conceptos previos, sobre todo cuando los conceptos científicos que le presenta la enseñanza adecuada se perciben como más útiles para resolver problemas, al mismo tiempo se ha concluido, que la idea comúnmente planteada en la literatura, sobre la necesidad de sustituir las concepciones alternativas de los estudiantes por concepciones científicas, resulta ser inoperante. Por ello es que la postura que fijaba como meta educativa el rechazo por parte del alumno de sus concepciones alternativas, que se consideraban erróneas o inferiores a las científicas, deberá modificarse hacia una posición más realista en la que se busque que el alumno sepa utilizar variadas representaciones de los fenómenos naturales para enfrentar diferentes tareas.

De los resultados obtenidos en las pruebas aplicadas y de las entrevistas realizadas a los alumnos que participaron en esta investigación, puedo afirmar que en ciertos contextos, su conocimiento cotidiano les parece más predictivo que el científico o quizá más eficaz, ya que aparentemente les conduce a los mismos resultados<sup>11</sup>, pero como dice Pozo (1999), con menor costo cognitivo. Hay que tomar en cuenta, además, que las concepciones alternativas suelen constituir verdaderas teorías con un fuerte contenido cultural y que como en el caso de la teoría de la evolución, al ser socialmente compartidas, resulta prácticamente imposible erradicarlas e incluso, cuando se supone que ha ocurrido un verdadero aprendizaje de la teoría evolutiva como sucede con los estudiantes del final de la carrera de biología, sorprende encontrar que no se abandona el conocimiento cotidiano. Lo anterior pone entonces en duda muchas aseveraciones teóricas sobre el aprendizaje de las ciencias en general y sobre el de la teoría de la evolución en particular.

Los resultados obtenidos en esta tesis indican que en lugar de pretender que el alumno abandone sus explicaciones intuitivas para asumir la teoría evolutiva, una meta educativa es que el estudiante logre diferenciar entre las explicaciones lamarckianas, ortogenéticas, teleológicas y darwinianas, y que las sepa discriminar en función del contexto. Esta meta dista de ser sencilla pues requiere que al preparar sus clases, el docente considere la gran variedad de representaciones alternativas que sus alumnos poseen para un mismo hecho, y que tome en cuenta, en contra de lo que muchos de los modelos de aprendizaje proponen, que el objeto de la enseñanza científica no es la erradicación de las concepciones alternativas de los estudiantes, sino separar las distintas formas de conocimiento (intuitivo, erróneo y científico) y lograr que los alumnos sepan en qué contexto son válidas. Esto implica un esfuerzo extra del maestro para reconocer y evaluar dichas formas alternativas sobre las que preparará su clase y para que uno de sus objetivos en la enseñanza de la biología sea lograr que el alumno contextualice sus ideas y el conocimiento científico. Esto significa que formar personas científicamente cultas consiste en propiciar que utilicen significados científicamente aceptados en el contexto adecuado y que tengan la capacidad de discriminarlos de aquéllos que la ciencia no acepta.

---

<sup>11</sup> Finalmente los estudiantes creen que sus concepciones alternativas en cuanto al proceso evolutivo les permite explicar la diversidad biológica y la adaptación

Los resultados a los que aquí se ha llegado ponen en duda los modelos tradicionales de influencia kuhiana que plantean que el cambio conceptual consiste en la sustitución de una teoría antigua por una nueva. De aquí que la constante dificultad que manifiestan los investigadores educativos para lograr el cambio conceptual, es que éste se ha concebido como el reemplazo de concepciones erróneas, en lugar de la búsqueda de la coexistencia equilibrada de sistemas alternativos de conocimiento en la misma persona.

Lo anteriormente dicho no implica que se deban ignorar tales modelos, pues no deja de reconocerse su gran utilidad, en éste y en otros trabajos, para la comprensión de lo que significa aprender ciencia; pero hay que tener claro que el modelo de Posner tan sólo explica instancias de acomodación de concepciones mayores y que tiene una visión holística del cambio conceptual que raramente encontré en los estudiantes con los que trabajé. Después de la enseñanza, los alumnos presentaron una reestructuración cognitiva en la que persistían concepciones en competencia y donde casi siempre se mantuvo la concepción previa, aunque ya prácticamente libre de errores conceptuales.

Tanto los modelos de conflicto cognitivo como el de insatisfacción de Posner (que son compatibles o complementarios) parecían hasta ahora muy atractivos; sin embargo, al proponer el reemplazo de una concepción por otra en la mente del estudiante, dichos modelos se contraponen con los resultados obtenidos en este trabajo, que han mostrado que este tipo de cambio conceptual no existe, no al menos para las concepciones aprendidas significativamente; así que a la luz de tales conclusiones, parece entonces más realista buscar que la enseñanza se aboque a lograr que el estudiante haga una discriminación de significados (lo que además implica aprendizaje significativo), pero no cambios o sustituciones de conceptos alternativos por científicos. Es por ello que considero necesario dar nuevas interpretaciones al concepto de cambio conceptual y alejarlo del enfoque conductista que hasta ahora ha tenido, como es buscar la extinción de acciones "incorrectas" de la mente del estudiante.

La interacción directa con los alumnos llevada a cabo en este trabajo, también ha mostrado que aún falta mucho para entender cómo se lleva a cabo la reestructuración cognitiva. Todavía se requiere investigar cómo ocurre en el aprendizaje de la ciencia en general y de la biología en particular. Dentro de esta última, cabría averiguar si los patrones de cambio son iguales para todos los tipos de concepciones y explicaciones biológicas o si, simplemente, como dice Jiménez (1992) para el caso de la teoría de la evolución, tan sólo se trata de que requerimos de más tiempo de enseñanza efectiva para poder entender cómo ocurre dicha reestructuración. Por lo pronto, en esta tesis se ha encontrado que la evaluación continua de las concepciones de los estudiantes por medio de cuestionarios, entrevistas y discusiones es la mejor manera de ir corroborando los cambios que ocurren en dichas concepciones durante y después de la enseñanza. Al respecto, resultó también de gran utilidad la resolución de problemas en grupo, tal como lo propone Beeth (1998).

Antes de hacer la última mención de los resultados finales de este trabajo, es necesario señalar dos aspectos más en cuanto a la enseñanza de la teoría de la evolución: por un lado está la necesidad de cambiar la manera de abordar este tema en la secundaria, y por otro, la posibilidad de generalizar el enfoque y las estrategias de enseñanza que aquí se proponen para otros niveles escolares.

En cuanto a la conveniencia de lo primero, no cabe duda de que con muy poco esfuerzo puede lograrse una buena comprensión del tema en la secundaria. Varios autores, entre ellos Deadman y Kelly (1978), justifican desde hace tiempo la necesidad de enseñar el modelo darwinista de la evolución por su importancia científica y social, así como por la gran cantidad de información incidental que los estudiantes reciben sobre el tema y que a falta de la instrucción adecuada, favorece las interpretaciones lamarckianas o teleológicas. Respecto a la enseñanza del mecanismo de selección natural en la secundaria, creo que para que su aprendizaje sea significativo se requiere de un amplio marco de conocimientos en el que juega un papel muy importante la genética, por lo que sugiero que este tema se enseñe previamente al de la evolución; asimismo propongo que los futuros currícula tomen en cuenta el largo periodo requerido para construir una comprensión significativa de la evolución, y que ésta no sólo sea abordada tempranamente en los programas sino que el tópico se entretaja continuamente en la instrucción biológica.

Por otro lado, en cuanto a la generalización de las estrategias de enseñanza, la instrucción diseñada con los modelos de cambio conceptual mostró en los resultados grupales que efectivamente hubo cambio conceptual, definido como un aumento en el empleo de explicaciones darwinianas entre las prepruebas y las postpruebas, frente a diversos problemas evolutivos. Sin embargo, al cotejar estos resultados de manera individual, se encuentra que la reestructuración cognitiva de tipo intercambio ocurre solamente en algunos estudiantes. La presente investigación ha mostrado que no todo mundo modifica sus concepciones previas de acuerdo a tales modelos, por lo que deben integrarse o diseñarse formas alternativas de instrucción que abarquen a la gran variedad de estilos de aprendizaje que tenemos en las aulas. Debe recalcarse además que para lograr que el alumno contextualice sus ideas, es indispensable que distinga entre el conocimiento científico, el alternativo, el erróneo y la falta de conocimiento.

De gran importancia en esta tesis resultó encontrar el papel que desempeña el concepto "necesidad" en la comprensión y enseñanza de la teoría de la evolución por selección natural, concepto que, de acuerdo con Demastes (1996), parece primordial. Sería importante que la investigación futura se enfocara a estudiar el papel de dicho concepto en la comprensión de la teoría de la evolución, porque la instrucción dirigida sobre el uso y la interpretación de "necesidad" puede ser un medio exitoso para lograr una concepción científica de dicha teoría de la evolución. Además considero que la idea de "necesidad" tiene una estrecha relación con el empleo de las formulaciones antropomórficas y teleológicas que son muy comunes en la enseñanza de la biología y en especial cuando se tocan temas evolutivos. La literatura y el trabajo práctico de esta tesis han mostrado que no hay necesidad de evitar tales formulaciones en clase, sino que, por el contrario, se les debería discutir cada vez que surjan, sobre todo al enseñar la teoría de la evolución; en tales discusiones explícitas debería especificarse su significado, enfatizando lo que no significan (que el fin sirve como causa en el sentido mecanístico o que los fenómenos biológicos tienen atributos humanos); al mismo tiempo, parece importante hacer uso llano de los términos antropomórfico y teleológico cuando se presenten en el aula tales formulaciones, tal como lo sugieren Zohar y Ginossar (1998). Tal vez la combinación de este proceder con la discusión del concepto de "necesidad", permita que nuestros alumnos gocen del valor heurístico positivo que se ha atribuido a las formulaciones antropomórficas- teleológicas.

Las diversas investigaciones acerca de la enseñanza de la evolución que se reportaron en la introducción de esta tesis hacen referencia a resultados medianamente satisfactorios en cuanto al manejo de las concepciones científicas, cuando se emplean alguno o varios de los enfoques de enseñanza aquí utilizados. Si se comparan tales resultados con los obtenidos en la presente investigación, pudiera parecer que el aprendizaje de la teoría de la evolución tampoco ha mostrado en este trabajo una *mejoría sustancial*. Sin embargo, si se considera lo que aquí se ha propuesto sobre la necesidad de buscar el cambio conceptual tipo intercambio, únicamente para las concepciones erróneas, hay que hacer notar que éstas disminuyeron notoriamente en – 46.43% entre las prepruebas y las postpruebas con la metodología empleada y con el uso de analogías. O bien, para comparar los resultados de esta investigación con otras sobre el mismo tema, se puede mencionar la ganancia significativa del 42.67% en la utilización de concepciones darwinianas en las postpruebas aplicadas a los alumnos del CCH.

Por supuesto que para hacer válidas estas comparaciones, habría que analizar desde las horas dedicadas a la enseñanza en cada una de las investigaciones, hasta los antecedentes socioeconómicos de los estudiantes con los que se trabajó. Por otro lado, se esperaría que un buen método didáctico para enseñar la teoría de la evolución arrojara en las postpruebas resultados por lo menos semejantes a los obtenidos al finalizar la carrera de biología; sin embargo, esto no ocurrió porque gran parte de la evaluación del rendimiento promedio de los jóvenes de enseñanza media superior a los que se les enseñó según la propuesta de esta tesis, incluye el conocimiento incompleto, que solamente es superado cuando se cursa una carrera o especialidad. Sin embargo, sin tomar en cuenta la ignorancia como parte ponderal de los bajos resultados promedio, hubo una reducción notable de concepciones erróneas y de pensamiento lamarckiano, que finalmente es a lo mínimo que podría aspirarse con una adecuada enseñanza de la teoría de la evolución en el bachillerato.

Lo anterior significa que:

- a) Si se enseña adecuadamente la teoría evolutiva en los niveles preuniversitarios, se podrá dar a los alumnos una cultura general en el tema, con la que puedan contextualizar sus ideas alternativas.
- b) *Las técnicas para lograr insatisfacción con las ideas de los alumnos tienen razón de ser cuando se contrastan las ideas erróneas (si las tienen) contra las científicas, pero debe quedar muy claro que las concepciones alternativas sólo pueden contextualizarse, no sustituirse y mucho menos erradicarse.*
- c) Para preparar el futuro aprendizaje de la teoría de la evolución de los estudiantes universitarios será necesario que en el bachillerato sí se sustituyan las concepciones erróneas por las explicaciones científicas adecuadas. Para lograrlo, esta tesis pone a la disposición de los maestros la metodología que hasta ahora ha mostrado ser la óptima.

Por lo que toca a la generalización de la metodología de enseñanza empleada en este trabajo, se ha demostrado que puede llevar al aprendizaje significativo si se emplean variadas estrategias didácticas acordes con la estructura y conocimientos de los grupos escolares y siempre y cuando se parta de las ideas de los estudiantes en sus diversas manifestaciones, no solamente del conocimiento general; para ello, la propuesta educativa planteada en este trabajo ha mostrado ser de gran utilidad para la enseñanza de un tema tan importante para la comprensión de la biología como es la teoría de la evolución por selección natural.

## XV. CONCLUSIONES GENERALES

La propuesta de una metodología para la enseñanza de la teoría de la evolución, tema de esta tesis, implicó seguir varias líneas de trabajo, por un lado la revisión bibliográfica de la abundante literatura existente sobre aprendizaje de las ciencias en el marco constructivista, y sobre enseñanza de la teoría de la evolución en particular. Por otro lado, al inicio de este trabajo se destinó gran parte del tiempo a la elaboración de una prueba que permitiera evaluar el conocimiento procedimental sobre evolución. Dicha prueba debía ser aplicable a distintos niveles educativos y además debería permitir conocer las concepciones de los estudiantes examinados, y su transformación después de la enseñanza, mediante una metodología llamada “análisis de seguimiento conceptual”.

La aplicación de esta prueba por lo menos a 20 diferentes grupos entre prepruebas y postpruebas, arrojó gran cantidad de información que hubo de ser procesada y analizada de variadas maneras; parte de ese análisis se llevó a cabo sobre los resultados obtenidos de la aplicación de una nueva propuesta didáctica para enseñar la teoría de la evolución, basada en experiencias recomendadas en la literatura. En este punto, el aporte original de este trabajo es que conjunta todas estas sugerencias y añade el empleo de analogías en búsqueda del aprendizaje significativo de la teoría de la evolución; esto último no se había hecho en la enseñanza de la biología.

Por otro lado, con este trabajo se pretende ofrecer a los profesores de biología del nivel medio superior, una serie de alternativas metodológicas para facilitar la enseñanza de un tema de difícil transmisión como es la teoría de la evolución; esto incluye que conozcan de antemano la forma en que sus alumnos perciben la evolución, de manera que ésta se enseñe acorde con la realidad cognitiva de sus estudiantes.

Entre las aportaciones más importantes de este trabajo están el análisis detallado de las concepciones que los estudiantes tienen sobre el proceso evolutivo, la aplicación de la metodología de seguimiento conceptual, la detección de patrones de cambio conceptual diferentes a los que proponen los modelos clásicos y la importancia del contexto en el manejo de las concepciones alternativas. Igualmente, se proponen nuevas formas de evaluar el cambio conceptual, que las investigaciones educativas han soslayado en su afán de definirlo.

Tomando en cuenta la diversidad de líneas de investigación llevadas a cabo en este trabajo, parece pertinente presentar las conclusiones obtenidas, agrupadas en cuatro rubros distintos:

1. Sobre la prueba desarrollada
  - a) La prueba utilizada en este trabajo permite evaluar el conocimiento procedimental de la evolución y evita la interpretación de las respuestas de los estudiantes, lo que en ocasiones dificulta las investigaciones educativas. Esta prueba, manejada conjuntamente con el “análisis de seguimiento conceptual” desarrollado en este trabajo, detecta y describe el pensamiento evolutivo de los sujetos y permite conocer con bastante exactitud el tipo de concepciones que los estudiantes poseen, así como explicar sus causas.



- b) Por otro lado, algunos reactivos de la prueba muestran cómo manejan los alumnos los conceptos clave para la comprensión de la teoría de la evolución, así como la forma que tienen de abordar problemas de corte evolutivo, que debería poder resolver cualquier persona que tenga una cultura biológica mínima.
  - c) La prueba puede ser utilizada completa o en partes y el maestro o el investigador educativo podrá calificarla según le convenga, ponderando algunos conceptos en particular.
  - d) La prueba es aplicable a público general o especializado y la forma en que se han planteado las preguntas, permite que éstas se validen con facilidad. A la fecha esta prueba se ha empleado como instrumento de evaluación en dos tesis de posgrado.
2. Sobre los resultados de las pruebas aplicadas
- a) Al aplicar la prueba en la secundaria, y distintos tipos de escuelas de nivel medio superior (CCH, ENP y preparatoria privada) se encontró que el conocimiento general de la teoría de la evolución (medido con este instrumento) es menor de tres en escala de diez y que los cursos antecedentes de biología, específicamente en aquéllos en que se aborda esta teoría, o bien no parecen haber influido en la comprensión del tema, o incluso, ejercen una influencia negativa en el aprendizaje posterior.
  - b) Los estudiantes que terminan la carrera de biología pero que no han cursado la materia optativa de evolución (en el antiguo plan de estudios de la Facultad de Ciencias), apenas logran doblar el promedio que obtuvieron las escuelas antes citadas. Lo anterior habla del escaso contenido evolutivo de dicho plan de estudios. Sin embargo, al haber cursado la carrera de biología completa incluyendo la materia de evolución, se alcanza un promedio muy cercano al diez. En este caso se reducen absolutamente las concepciones erróneas, aunque se conservan algunas intuitivas, ingenuas o alternativas; esto fue la primera evidencia que se tuvo en este trabajo sobre la persistencia de las concepciones alternativas, aun después de haber estudiado una carrera universitaria.
  - c) Del análisis del empleo de los conceptos evolutivos de difícil manejo que la prueba desarrollada permitió hacer, se encontró una gran dificultad para utilizar y comprender el concepto de variación en una población. Esta dificultad se acentúa con técnicas de enseñanza inapropiadas, como basar el aprendizaje de la evolución en la lectura de artículos de nivel inalcanzable para los alumnos.
  - d) Cuando se enfrenta a los estudiantes a problemas evolutivos, se encuentra que sus respuestas están permeadas por el lenguaje popular y que con la intervención educativa tradicional que se suele ofrecer en el nivel medio superior, los estudiantes cambian sus respuestas de lamarckianas a teleológicas en lugar de a darwinianas. La reducción de ideas lamarckianas en la resolución de problemas se facilita con la enseñanza apoyada en analogías, siempre y cuando éstas se elaboren adecuadamente.

- e) Hay escuelas donde existe una dificultad generalizada para resolver los problemas evolutivos; convendría revisar si el ambiente religioso de las mismas ha influido en la comprensión de la teoría de la evolución, o si tan sólo se trata de que los maestros no cubren el tema. Por otra parte, se encontró que la carrera de biología da a los estudiantes el criterio suficiente para resolver sin errores la prueba aplicada.
- f) La mayor dificultad que los estudiantes tienen en la comprensión del proceso evolutivo en general se refiere a que consideran que los cambios en los organismos ocurren simultáneamente en toda la población; también es muy común encontrar que se menciona el uso y desuso de ciertos órganos y sobre todo la necesidad de adquirir una función como causa de la evolución.
- g) La persistencia y generalización que hay entre los estudiantes de la idea de que los organismos evolucionan por una “necesidad”, deberá ser revisada con profundidad pues parece que funciona como una concepción alternativa mayor y que está muy relacionada con el pensamiento teleológico – antropológico.
- h) Los resultados encontrados indican que la enseñanza de la biología en el bachillerato no está proporcionando el conocimiento adecuado en un tema tan importante como es la teoría de la evolución, no sólo para los estudiantes que ingresan a la carrera de biología, sino también para aquellos que cursan carreras de contenido biológico, sin mencionar el papel que el tema tiene como parte de la cultura.

### 3. Sobre la metodología de enseñanza propuesta.

- a) La metodología propuesta para facilitar la enseñanza de la teoría de la evolución en el nivel medio superior se basó grandemente en el modelo de Posner, el que llevado a la práctica tiene el gran acierto de promover la insatisfacción de los estudiantes con sus conocimientos previos cuando éstos se alejan de lo que la ciencia propone, además de que les ayuda a contextualizar sus concepciones ingenuas. Se encontró que la insatisfacción debe ser manejada con tacto y cautela y que ésta es muy difícil de lograr si el estudiante no encuentra inteligible y plausible la nueva concepción. Para alcanzar esto último, resulta de gran utilidad hacer que los estudiantes expresen verbalmente lo que han entendido e intenten plantear analogías, siempre y cuando esto se haga con una estrecha vigilancia por parte del maestro para evitar la construcción de falsas analogías.

Es importante subrayar el papel de los ejemplos y las ilustraciones en promover la inteligibilidad de conceptos particularmente complejos; sin embargo hay que reconocer, que no todos los alumnos tienen facilidad para comprender el material gráfico.

- b) La metodología sugerida en este trabajo, implica que el maestro tenga una interacción constante y bastante profunda con sus alumnos, lo que en la práctica no siempre es posible.

- c) La explicación de esta metodología a la práctica docente cotidiana requeriría de un entrenamiento especial a los maestros y del convencimiento de las instituciones educativas. Por lo pronto, en este trabajo se pone a la disposición de los docentes la metodología detallada, en caso de que deseen incursionar en una nueva forma de enseñar la teoría de la evolución.

#### 4 Sobre el cambio conceptual

- a) A pesar de que la literatura sobre cambio conceptual está muy enfocada a buscar un cambio holístico tipo *intercambio* de las concepciones de los estudiantes, por concepciones científicamente aceptadas, resulta notable que en la práctica ese tipo de cambio raramente se logre, sobre todo en el nivel medio superior. Lo anterior mostró la necesidad de investigar detalladamente las concepciones de los estudiantes. Se encontró que dichas concepciones están compuestas por varias formas de conocimiento a los que educativamente hay que abordar de diferentes maneras.

El conocimiento incompleto puede reducirse al proporcionar la información adecuada, según se trate de un aprendiz novato o de uno experimentado.

El conocimiento erróneo, o la falta de conocimiento podrán abordarse por medio de demostraciones, experimentos, discusiones, ejemplos y analogías.

Las concepciones alternativas, en cambio, podrán ser identificadas de manera que el que aprende las sepa contextualizar.

Esto pone en relieve la importancia de encontrar el enfoque didáctico adecuado cuando de abordar las distintas manifestaciones de las concepciones de los estudiantes se trata.

- b) En este trabajo se subraya que las concepciones alternativas aun cuando son erróneas desde el punto de vista científico, no son disfuncionales para los alumnos; y sobre todo que no son intercambiables por las aceptadas por la ciencia. Se propone entonces que la enseñanza de la ciencia debe lograr que el estudiante utilice la concepción más adecuada para un cierto contexto, lo que implicaría trabajar en el marco del aprendizaje significativo y de la metacognición. Pero no puede pretenderse lograr el cambio conceptual sobre las concepciones globales de los estudiantes.
- c) Para el caso de la enseñanza de la teoría de la evolución no importa si el cambio conceptual se mide como aumento en el uso de concepciones darwinianas o como disminución en el uso de concepciones no científicas; lo que es realmente importante, es dar seguimiento a la transformación de las ideas de los alumnos a medida que el maestro avanza en la enseñanza del tema. Esto se logra con facilidad cuando resuelven problemas en grupo; sin embargo, el mejor método consiste en entrevistar constantemente a los alumnos.

- d) Cabe subrayar el papel que juegan las analogías en la reducción de las concepciones erróneas sobre la evolución y en la ayuda que proporcionan para lograr la inteligibilidad y la plausibilidad de conceptos complejos. Por otra parte, el empleo de analogías correctamente planteadas, proporciona seguridad a los estudiantes en el manejo de temas polémicos como la teoría de la evolución por selección natural.

## RECUESTO FINAL

Este trabajo partió del interés por mejorar la enseñanza de la teoría de la evolución en el bachillerato, no sólo para lograr que los estudiantes que eligen la carrera de biología lleguen a ella con una buena preparación básica en el tema, sino también por la necesidad de integrar el conocimiento de la evolución a la cultura general.

La extensa literatura consultada, principalmente extranjera, sobre la enseñanza de la teoría evolutiva, mostraba que las dificultades para la comprensión del tema se deben a muchos factores, de los cuales los principales son la influencia religiosa, a menudo irrefutable, del entorno de los estudiantes; el nivel cognitivo de éstos, insuficiente para lo abstracto del tema; y la enseñanza dogmática que no toma en cuenta las explicaciones sobre la evolución con las que los alumnos llegan a la escuela y que han adquirido de los medios de comunicación o de su entorno familiar.

A lo largo de este trabajo se encontró, en cambio, que en nuestro país la problemática educativa respecto a la teoría de la evolución se centra en que el tema rara vez se enseña y cuando esto ocurre, se hace de manera memorística porque el maestro tiene que transmitir un programa demasiado extenso y complejo que difícilmente maneja (sobre todo en secundaria), de modo que los estudiantes que abordaron el tema en ese nivel educativo, llegan al bachillerato no sólo con sus ideas ingenuas, sino con un cúmulo de frases hechas y errores conceptuales disfrazados de ciencia.

Por su parte, el alumno desarrolla una explicación sobre la evolución a partir de la información proveniente de los medios de comunicación y de su entorno más cercano, donde a falta de conocimientos científicos, los padres dan a sus hijos o bien las explicaciones que conocen (que son las religiosas, aunque sin el carácter dogmático antes mencionado), o bien las ingenuas, con interpretaciones lamarckianas que, como también se ha mostrado en este trabajo, son las más comunes sobre la evolución de los seres vivos.

De esta manera, la problemática se centra en buscar primero que el tema se enseñe efectivamente, para lo cual habrá que incorporarlo a fondo en los programas de estudio, junto con los antecedentes necesarios, entre los que desempeña un papel básico la genética. Para esa enseñanza cabal habrá también que buscar la preparación de los maestros, pues de otra manera no se romperá ese círculo vicioso en el que el maestro a su vez repite las explicaciones que recibió de su entorno familiar, y que son muy semejantes a las de sus propios alumnos.

Una vez que se comprenda la necesidad de enseñar el tema de la evolución como eje central de la biología, habrá que utilizar una metodología adecuada como la que aquí propongo, que implica partir de las concepciones alternativas de los alumnos y utilizar una serie de técnicas para producir insatisfacción con los conceptos previos, pero sobre todo buscar la inteligibilidad de los nuevos conceptos. En este sentido, insisto en que la intervención del maestro es fundamental y que ésta se puede apoyar en una serie de herramientas didácticas como las ilustraciones, los ejemplos, las simulaciones y, sobre todo, las analogías, siempre y cuando estén planeadas cuidadosamente.

Finalmente, al ser la evolución un tema tan importante dentro de la biología, deberá buscarse que se enseñe obligatoriamente, haciendo uso de todas las posibilidades que particularmente ofrece esta tesis, con el objeto de abordar el problema educativo como realmente es, y no tratando de emular una situación educativa falsa o importada de un ambiente ajeno al nuestro.

# BIBLIOGRAFÍA

---

- Abell, S.K. 1995. Reflections on fifth-grade life science lesson: making sense of children's understanding of scientific models. *Int. J. Sci. Ed.* 17 (1): 59-74.
- Abimbola, I.O. 1988. The problem of terminology in the study of student conceptions in science. *Sci. Ed.* 72 (2): 175-184.
- Anderson, G.L. 1990. Critical Ethnography in education: origins, current status, and new directions. *Rev. Ed. Res.* 60 249-270.
- Arca, M. 1990. *Enseñar Ciencia, Cómo empezar: Reflexiones para una Educación Científica de Base*. Paidós Ecuados. Barcelona.
- Arnold, M. and R. Millar. 1997. Exploring the use of analogy in the teaching of heat, temperature and thermal equilibrium. *Sci. Ed.* in Europe. 23-35.
- Ashman, A.F. y R.N. Conway. 1992. *Estrategias Cognitivas en Educación Especial*. Ed. Santillana, México.
- Ausubel, D.P., J.D. Novak and H. Hanesian. 1995 (8a. ed.) *Psicología Educativa: Un Punto de Vista Cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- Ayala, F.J. 1970. Teleological explanations in evolutionary biology. *Philosophy of Science*. March: 1-15.
- Ayala, F.J. 1998. Teleological explanations *versus* teleology. *Hist. Phil. Life Sci.* 20: 41-50.
- Barahona, A. y S. Martínez. 1999. *Historia y Explicación en Biología*. Ediciones Científicas Universitarias. Texto Científico Universitario. F.C.E. México.
- Barberá, O. and V. Sanjosé. 1993. A simple model to think about the evolutionary rate in macroevolution. *Am. Bio. Teacher.* 55 (7): 424-429.

- Barker, J.A., 1984. Simulating evolution. *J. Bio. Ed.* 18 (1): 13-15.
- Barsalou, L. W. 1989. The instability of graded structure: implications for the nature of concepts. in U. Neisser (Ed.) 1989 *Concepts and Conceptual Development*. Cambridge Univ. Press. 101-138.
- Bartov, H. 1978. Can students be taught to distinguish between teleological and causal explanations? *J. Res. Sci. Teach.* 15 (6): 567-572.
- Beatty, J. 1990. The probabilistic revolution in evolutionary biology - an overview. in Krüger, L., G. Grigerenzer and M.S. Morgan. *The Probabilistic Revolution*. Vol. 2 MIT. Press, Cambridge: 229-232.
- Beeth, M.E. 1998. Teaching for conceptual change: Using status as a metacognitive tool. *Sci. Ed.* 82: 343-356.
- Benlloch, M. and J.I.Pozo.1996. What changes in conceptual change?: From ideas to theories. Science Research Education in Europe. Welford, Geoff et al (eds.) Falmer. London: 200-211.
- Berbaum, J. 1996. *Aprendizaje y Formación*. F.C.E. México 141 p.
- Bereiter, C. 1994. Implications of postmodernism for science, or science as progressive discourse. *Ed. Psycho.* 29 (1): 3-12.
- Bishop, B.A., and Anderson, C.W. 1985. Evolution by natural selection: A teaching module (Occasional Paper No. 91), East Lansing, MI: Institute for Research on Teaching, Michigan State University.
- Bishop, B.A. and C. W. Anderson. 1990. Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *J. Res. in Sci. Teach.* 27 (5): 415-427.
- Bloome, D. and E. Theodorou. 1988. Analyzing teacher-student and student-student discourse. in J.L. Green and J.O. Harker (Eds.) *Multiple Perspective Analyses of Classroom Discourse*. 1988. Ablex Pub. Co. Norwood, N.J.: 217-248.
- Boughey, A.S. 1981. *Fundamental Ecology*. Intext Ed. Pub. Scranton.
- Bouton, J. 1984. El pensamiento teleológico y el materialismo científico. En Otero, M.H. (comp.) *Materialismo y Ciencias Naturales*. UNAM. México. 151-183.
- Bowler, P.J. 1992. *The Non-Darwinian Revolution*. Chap. 3. The John Hopkins Univ. Press.
- Bransford, J., R. Sherwood, N. Vye and J. Rieser. 1986. Teacher thinking and problem solving. *Am. Psych.* 41 (10): 1078-1089.
- Brown, D.E. 1992. Using examples and analogies to remediate misconceptions in physics: factors influencing conceptual change. *J. Res. Sci. Teach.* 29: 17-34.

- Brown, D.E. 1994. Facilitating conceptual change using analogies and explanatory models. *Int. J. Sci. Educ.* 16 (2): 201-214
- Brumby, M. 1979. Problems in learning the concept of natural selection. *J. Bio. Ed.* 13 (2): 119-122.
- Brumby, M. 1982. Students' perceptions of the concept of life. *Sci. Ed.* 66 (4): 613-622.
- Brumby, M.N. 1984. Misconceptions about the concept natural selection by medial biology students. *Sci. Ed.* 68 (4): 493-503
- Büning, H. and G. Trenkler, 1978. *Nichtparametrische Statistische Methoden*. Walter de Gruyter. Berlín. (p. 228)
- Caillet, E. 1994. Schools and museums. *J. Mus. Ed.*: 14-20.
- Campos, M. A. 1989. La problemática del aprendizaje cognitivo en el aula. En M. Rueda y M. Escobar. *La Investigación Educativa sobre el Salón de Clases Universitario*. México. CISE, UNAM: 6-21.
- Caravita, S. and O. Halldén. 1994. Re-framing and modeling the processes of conceptual change. *Learning and Instruction.* 4 (1):89-111.
- Carey, S.1986. Cognitive science and science education. *Am. Psychologist.* 41 (10): 1123-1130.
- Chandler, P. 1997. A missing link to understanding evolution. *Sci. Scope*. October. 24-25.
- Chi, M.T., J.D. Slotta and N. Leeuw. 1994. From things to processes: a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction.* 4 (1): 27-44.
- Chinn, C.A. and W.F.Brewer.1993. The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Rev. Ed. Res.* 63 (1): 1-49
- Chinn, C.A. and W.F. Brewer. 1998. An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *J. Res. Sci. Teach.* 35 (6): 623-654.
- Clarke, J.H. 1991. Graphic Organizers: Frames for Teaching Patterns of Thinking. in *Developing Minds*. Vol. 1 A. Costa (ed.) ASCD Alexandria, Va. p. 224 - 231.
- Clough, E.E. and C. Wood-Robinson. 1982. How secondary students interpret instances of biological adaptation. *J. Res. Sci. Teach.* 19: 15-24.
- Cobern, W.W. 1994. Point: Belief, understanding, and the teaching of evolution. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 583-590.
- Conover, W. J. 1973. *Practical Nonparametric Statistics*. J. Wiley & Sons. New York. (p. 127)



- Costa, A. L. 1991. Teacher Behaviors that Enable Student Thinking. in *Developing Minds*. Vol. 1 A. Costa (ed.) ASCD Alexandria, Va. p. 194 - 206.
- Cummins, C.L. and S.S. Demastes 1994. Evolution: Biological Education's Under - Researched Unifying Theme. *J. Res. Sci. Teach.* Vol. 31 No. 5 p. 445 - 448.
- Dagher, Z., and G. Cossman. 1992. Verbal explanations given by science teachers: their nature and implications. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (4): 361-367.
- Dagher, Z.R. 1994. Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Sci. Ed.* 78 (6): 601-614.
- Dagher, Z.R. 1995 <sup>(1)</sup>. Analysis of analogies used by science teachers. *J. Res. Sci. Teach.* 32 (3): 259-270.
- Dagher, Z.R. 1995 <sup>(2)</sup>. Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. *Sci. Ed.* 79 (3): 295-312.
- Dagher, Z. 1997. Scientific views and religious beliefs of college students: the case of biological evolution. *J. Res. Sci. Teach.* 34 (5): 429-445.
- Darwin, C. 1980. *El origen de las especies*. Bruguera, Barcelona.
- Dawkins, R. 1993. *El Relojero Ciego*. RBA. Editores. Barcelona.
- Deadman, J. and P.J. Kelly. 1978. What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *J. Bio. Ed.* 12 (1): 7-15.
- Demastes, S.S., J. Settlage, Jr. and R. Good. 1995. Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: cases of replication and comparison. *J. Res. Sci. Teach.* 32 (5): 535-550.
- Demastes, S. and R. Good. 1996. Patterns of conceptual change in evolution. *J. Res. Sci. Teach.* 33 (4): 407-431.
- DiSessa A.A. 1988. Knowledge in pieces. *Constructivism in the computer age*. In G. Forman & P.B. Pufall (Eds.) Hillsdale, N.J.
- Donmoyer, R. 1990. Generalizability and the single-case study. in Einsner, E. W. and Peshkin, A. (1990). *Qualitative Inquiry in Education*. New York: Teachers College Press.: 175-200.
- Dowdeswell, W. H., 1984. *Evolution A Modern Synthesis*. Heinemann Educational Books, Ltd. Oxford.
- Dreyfus, A., E. Jungwirth and P. Tamir. 1985. Biology education in Israel as viewed by the teachers. *Sci. Ed.* 69 (1): 83:93
- Dreyfus, A., and Jungwirth. 1989. The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *J. Biol. Ed.* 23 (1): 49-55.

- Driver, R. 1989. Students' conceptions and the learning of science. *Int. J. Sci. Ed.* 11: 481-490.
- Duhrkopf, R. 1991. More evolutionary simulations. *Am. Bio. Teacher.* 53 (7): 442-443.
- Duit, R. 1991. On the role of analogies and metaphors in learning science. *Sci. Ed.* 75 (6): 649-672.
- Dupin, J.J. and S. Johsua. 1989. Analogies and "Modeling Analogies" in teaching: some examples in basic electricity. *Sci. Ed.* 73 (2): 207-224.
- Duschl, R.A. and D.H. Gitomer. 1991. Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for educational practice. *J. Res. Sci. Teach.* 28 (9): 839-858
- Duveen, J. and J. Solomon 1994. The great Evolution Trial: Use of role - play in the classroom. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 575 - 582.
- Edmonson, K.M. and J.D. Novak. 1993. The interplay of scientific epistemological views, learning strategies, and attitudes of college students. *J. Res. Sci. Teach.* 30 (6): 547-559.
- Engel C.E. and C. Wood-Robinson. 1985. Children's understanding of inheritance. *J. Bio. Ed.* 19 (4): 304-310
- Erickson, G.L. and L.J. Erickson. 1984. Females and science achievement: Evidence, explanations, and implications. *Sci. Ed.* 68 (2): 63-89.
- Eve, R., and D. Dunn. 1990. Psychic powers, astrology and creationism in the classroom? *Am. Bio. Teach.* 52 (1): 10-21.
- Farrington, B. 1966. *What Darwin Really Said*. Schocken Books. New York.
- Fifield, S. and B. Fall. 1992. A hands-on simulation of natural selection in an imaginary organism, *Platysoma apoda*. *Am. Bio. Teacher.* 54 (4): 230-235.
- Finster, D.C. 1989. Developmental instruction. *J. Chem. Ed.* 66 (8): 659-661.
- Fisher, K. M. 1992. Teaching of Evolution. in Proceedings of the 1992 Evolution Education Research Conference. Baton Rouge; Louisiana State University: 103-105.
- Gago, H. A. 1996 (13a. ed.) *Modelos de Sistematización del Proceso de Enseñanza - Aprendizaje*. Ed. Trillas. México.
- Gary, E., and L. Dolph. 1990. A biological time capsule. *Sci. Teacher.* november: 40-44.
- Gatzke, K. W. 1985. Creationism as science: What every teacher-scientist should know. *Sci. Ed.* 69 (4): 549-555
- Gené, A. 1991. Cambio conceptual y metodológico en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución de los seres vivos. *Enseñanza de las ciencias.* 9 (1): 22-27.

- Giordan, A. 1987. Los conceptos de biología adquiridos en el proceso de aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*. 5 (2): 105-110.
- Giordan, A. 1997. Los nuevos modelos de aprendizaje: ¿Más allá del constructivismo? *Educación 2001*. 25 (6): 40-45.
- Glynn, S.M. and T. Takahashi, 1998. Learning from analogy-enhanced science text. *J. Res. Sci. Teach.* 35 (10): 1129-1149.
- Good, R. 1992. Evolution Education: An area of needed research. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (10): 1019
- Gould, S. J. 1982. Darwinism and the expansion of evolutionary theory. *Science* 4544 (216): 380-387.
- Gould, S. J. 1996. Darwin's revolution in thought. Video and Teaching Guide. Into the classroom Media. Los Angeles, CA.
- Greene, E. D. Jr. 1990. The logic of university students' misunderstanding of natural selection. *J. Res. Sci. Teach.* 27 (9): 875-885
- Gruber, H. E. 1984 *Darwin sobre el hombre: Un Estudio Psicológico de la Creatividad Científica*. Alianza Editorial. Madrid.
- Guillén, F. C. 1994. El nuevo enfoque en la enseñanza de la Biología en Secundaria. *Ciencia* 45: 247-262.
- Guillén, F. C. 1997. Construcción de un modelo de enseñanza para Biología. Tesis de doctorado en ciencias. Fac. de Ciencias UNAM.
- Gutiérrez, R. 1984. *Piaget y el Currículum de Ciencias*. Ed. Narcea. Madrid.
- Guzzeti, B. And C. Hynd. 1998. *Perspectives on Conceptual Change*. Lawrence Erlbaum Ass. Pub. London.
- Hafner, R. And J. Stewart, 1995. Revising explanatory models to accomodate anomalous genetic phenomena: Problem solving in the "context of discovery". *Sci. Ed.* 79 (2): 111-146.
- Haslam, F. and D.F. Treagust. 1987. Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *J. Biol. Ed.* 21 (3): 203-211.
- Halldén, O. 1988. The evolution of species: pupil perspectives and school perspectives. *Int. J. Sci. Educ.* 10 (5): 541-552.
- Ham, S. H. 1996. Cognitive psychology and interpretation: Synthesis and application. in E. Hooper-Greenhill (Ed.) *The Educational Role of the Museum*. Routledge. London. p. 107-117.

- Hammersmith, R.L. and T.R. Mertens. 1990. Teaching the concept of genetic drift using a simulation. *Am. Bio. Teacher*. 52 (8): 497-499.
- Hauslein, P.L., R. Good and C. Cummins. 1992. Biology content cognitive structure: from science student to science teacher. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (9): 939-964.
- Hendry, G. D. and R. C. King. 1994. On theory of learning and knowledge: Educational Implications of advances in neuroscience. *Sci. Ed.* 78 (3): 223-254.
- Hernández, M.C. 1995. El papel de la Historia de la Ciencia en la formación del biólogo. Tesis de Maestría en Ciencias. Fac. de Ciencias. UNAM.
- Hewson, P.W. and N.R. Thorley. 1989. The conditions of conceptual change in the classroom. *Int. J. Sci. Ed.* 11: Special Issue: 541-553.
- Hodge, M.J.S., 1990. Natural selection as a causal, empirical and probabilistic theory. in Krüger, L.G., G. Grigerenzer and M.S. Morgan. *The Probabilistic Revolution*. Vol. 2. MIT. Press, Cambridge. p. 233-270.
- Jeffery, K.R. and L.E. Roach. 1994. A study of the presence of evolutionary protoconcepts in pre-high school Textbooks. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 507 - 518.
- Jensen, M. S. and F. N. Finley. 1995. Teaching Evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Sci. Ed.* 79 (2): 147-166.
- Jensen, M. S. and F. N. Finley, 1996. Changes in student's understanding of evolution resulting from different curricular and instructional strategies. *J. Res. Sci. Teach.* 33 (8): 879-900.
- Jiménez, A.M.P. 1991. Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*. 9 (3): 248-256.
- Jiménez, A.M.P. 1994. Teaching evolution and natural selection. A look at textbooks and teachers. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 519 - 535.
- Johnson, M.A. and A.E. Lawson. 1998. What are the relative effects of reasoning ability and prior knowledge on biology achievement in expository and inquiry classes?. *J. Res. Sci. Teach.* 35 (1): 89-103.
- Jones, M.G., M.J. Rua and G. Carter. 1998. Science teachers' conceptual growth within Vygotsky's zone of proximal development. *J. Res. Sci. Teach.* 35 (9): 967-985.
- Kargbo, D.B., E.D. Hobbs, and G.L. Erickson. 1980. Children's beliefs about inherited characteristics. *J. Bio. Ed.* 14 (2): 137-146
- Keil, F.C. 1994. The birth and nurturance of concepts by domains: the origins of concepts of living things. In L.A. Hirschfield (Ed.). *Mapping the Mind*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, M.A.

- Keown, D. 1988. Teaching Evolution. Improved approaches for unprepared students. *Am. Bio. Teach.* 50 (7): 407-410
- Knapp, P.A. & J.M. Thompson. 1992. Lessons in Biogeography: Simulating evolution using playing cards. *J. of Geography*. March/April: 96-100.
- Korthagen, F., and B. Lagerwerf. 1995. Levels in learning. *J. Res. Sci. Teach.* 32 (10): 1011-1038.
- Kosslyn, S.M. and J.R. Pomerantz. 1977. Imagery, propositions, and the form of internal representations. *Cognitive Psycho.* 9: 52-76.
- Kuhn, T. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. (2nd. ed.) University of Chicago Press. Chicago.
- Laferrière, J. E., 1992. Teaching the evolution of the angiosperm carpel. *Am. Bio. Teacher.* 54 (6): 362-363.
- Lang Da Silveira, F. y M.A. Moreira. 1996. Validación de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre calor, temperatura y energía interna. *Enseñanza de las Ciencias.* 14 (1): 75-86.
- Laplante, B. 1997. Teachers' beliefs and instructional strategies in science: Pushing analysis further. *Sci. Ed.* 81: 277-294.
- Lawson, A.E. 1986. High School Biology. *Sci. Ed.* 70 (3): 240-252
- Lawson, A.E. and L.D. Thompson. 1988. Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *J. Res. Sci. Teach.* 25: 733-746.
- Lawson, A.E. and W.A. Worsnop. 1992. Learning about evolution and rejecting a belief in special creation. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (2): 143-166.
- Lawson, A.E. 1993. The importance of analogy: A prelude to the special issue. *J. Res. Sci. Teach.* 30 (10): 1213-1214.
- LeCompte, M.D. 1987. Bias in the biography: bias and the subjectivity in ethnographic research. *Antr. and Ed. Quarterly.* 18: 43-52.
- Limón, M. y M. Carretero. 1997. Las ideas previas de los alumnos. ¿Qué aporta este enfoque a la enseñanza de las ciencias? en M. Carretero (Ed.). *Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales*. AIQUE. Argentina: 19-45.
- Linder, C.J. 1993. A challenge to conceptual change. *Sci. Ed.* 77 (3): 293-300
- Linn, M. C. (1987) Establishing a research base for science education: challenge trends and recommendations. *J. Res. Sci. Teach.* 34: 191-216.

- Lombardi, O.I., 1997. La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. *Enseñanza de las Ciencias*. 15 (3): 343-349.
- López, T.A. 1994. Consideraciones para la enseñanza de la Biología. *Revista AMIE*. 1 (0): 17-19
- López, M.A. 1997. La explicación teleológica en la enseñanza y aprendizaje de la biología. En M. Carretero (Ed.) *Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales*. AIQUE. Argentina: 153-172.
- Louden, W. E. 1994. Knowing and teaching science: the constructivist paradox. *Int. J. Sci. Ed.* 16 (6): 649-657.
- Lucas, A.M. 1986. Tendencias en la investigación sobre la enseñanza/aprendizaje de la biología. *Enseñanza de las Ciencias*. 4 (3): 189-198.
- Marín, N., Jiménez, G.E. y A. Benarroch. 1997. Delimitación de “lo que el alumno sabe” a partir de objetivos y modelos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 15 (2): 215-224.
- Martin, M. 1987. *Semiología de la Imagen y Pedagogía*. Narcea, S.A. Madrid.
- Matthews, M.R. 1997. James T. Robinson's account of philosophy of science and science teaching: Some lessons for today from the 1960s. *Sci. Ed.* 81: 295-315.
- Mayr, E. 1965. Cause and effect in Biology in *Cause and Effect*. (ed. D. Lerner). Free Press, New York: 33-50.
- Mayr, E. 1972. Lamarck revisited. *J. Hist. Bio.* 5 (1): 55-94
- Mayr, E. 1982. *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution and Inheritance*. Belknap Press. Cambridge M.A.
- Mayr, E. 1991. *One Long Argument*. Harvard Univ. Press. Cambridge M.A.
- Mayr, E. 1998. The multiple meanings of “Teleological”. *Hist. Phil. Life Sci.* 20: 35-40.
- Mc Comas, W.F. 1991. Resources for teaching evolutionary biology labs. *Am. Bio. Teach.* 53 (4): 205-208.
- Mead, J. M., and L. C. Scharman. 1994. Enhancing critical thinking through structured academic controversy. *Am. Bio. Teach.* 56 (7): 416-419
- Milne, D.H. 1981. How to debate with creationists and “win”. *Am. Bio. Teach.* 43: 235-245.
- Monk, M. and J. Osborne. 1997. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy. *Sci. Ed.* 81: 405-424.
- Moody, D.E. 1996. Evolution and the textbook structure of biology. *Sci. Ed.* 80 (4): 395-418.

- Moreira, M.A. 1990. La Ve epistemológica de Gowin como recurso instruccional y curricular en ciencias. I Simposio-Escuela sobre Educación en Física. Córdoba, Argentina.
- Moreira, M.A. 1993. La teoría del aprendizaje significativo de David Ausubel. Fascículos del CIEF. Serie Enseñanza Aprendizaje, No. 1. Porto Alegre.
- Moreira, M.A. 1993. La teoría de educación de Novak y el modelo de enseñanza-aprendizaje de Gowin. II Escuela Latinoamericana de Investigación en Enseñanza de la Física. Porto Alegre, Brasil. 5-16 de julio de 1993.
- Moreira, M.A. 1993. Mapas conceptuales como recurso instruccional y curricular en Física. Fascículos del CIEF. Serie Enseñanza Aprendizaje No. 2. Porto Alegre.
- Moreira, M.A. 1994. Diez años de la revista "Enseñanza de las Ciencias": de una ilusión a una realidad. *Enseñanza de las Ciencias*. 12 (2): 147-153.
- Moreira, M.A. 1994. Cambio conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. II Simposio sobre Investigación en Educación en Física. Buenos Aires, Argentina. 3-5 agosto 1994.
- Moreno, A.L.E. y G. Waldegg. 1998. La epistemología constructivista y la didáctica de las ciencias: ¿coincidencia o complementariedad? *Enseñanza de las Ciencias*. 16 (3): 421-429.
- Morishita, F. 1991. Teaching about controversial issues: Resolving conflict between creationism and evolution through law-related education. *Am. Bio. Teach.* 53 (2): 91-93.
- Nagel, E. 1979. *Teleology Revisited and other Essays in the Philosophy and History of Science*. Columbia University Press.
- Navarro, A. 1995. Psicología Cognoscitiva: raíces, supuestos y proposiciones. A. Puente, L. Poggioli y A. Navarro (Eds.) *Psicología Cognoscitiva*. McGraw-Hill. Venezuela 1-44.
- Neisser, U. 1989. From direct perception to conceptual structure. in U. Neisser (Ed.). *Concepts and Conceptual Development*. Cambridge Univ. Press. 11-23.
- Nieda, J. Y B. Macedo 1997. *Un Currículo Científico para Estudiantes de 11 a 14 años*. CEI. Santiago, Chile.
- Nisbet, J. y J. Shucksmith. 1992. *Estrategias de Aprendizaje*. Ed. Santillana. México. 173 p.
- Norris, S.P., and L. Phillips. 1994. Interpreting pragmatic meaning when reading popular reports of science. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (9): 947-967.
- Novak, J.D. and D.B. Gowin. 1984. *Learning how to Learn*. Cambridge Univ. Press. Cambridge, U.K.
- Novak, J.D. 1988. Constructivismo humano: un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias*. 6 (3): 213-223.

- Novak, J.D. 1990. Concept mapping: a useful tool for science education. *J. Res. Sci. Teach.* 27 (10): 937-949.
- Novak, J. D. 1992. A view on the current status of Ausubel's assimilation theory of learning. Meetings of the Am. Ed. Res. Ass. San Francisco, CA. 1-23.
- NSTA Position Statement on the teaching of evolution. 1997. NSTA, Arlington, VA.
- Núñez-Farfán J. y C. Cordero, 1993. *Tópicos de Biología Evolutiva. Diversidad y Adaptación*. Centro de Ecología, UNAM.
- Nusbaum, J. and J.D. Novak. 1982. Alternative frameworks, conceptual conflict and accomodation. *Inst. Sci.* 11: 183-200.
- Okebukola, P.A. and M.B. Ogunniyi. 1986. Effects of teachers' verbal exposition on students' level of class participation and achievement in biology. *Sci. Ed.* 70 (1): 45-51
- Pallares, E. 1984. Lo lógico y lo psicológico en la explicación en Otero M.H. (comp.) *Materialismo y Ciencias Naturales*. UNAM. México. 99-115.
- Palmer, S.C., and R.A. Norton. 1988. Changing views of sex's role in animal evolution. *Am. Bio. Teacher.* 50 (4): 202-207.
- Pearsall, N.R., J.E. Skipper and J.J. Mintzes. 1977. Knowledge restructuring in the life sciences: A longitudinal study of conceptual change in biology. *Sci. Ed.* 81: 193-215.
- Pearson, L. 1988. Evolution and diversity in plants. *Am. Bio. Teach.* 50 (8): 487-495.
- Peczki, J. 1993. Evolving student thought. Simulating evolution over many generations. *Sci. Teacher.* Jan: 43-45.
- Perkins, D.N. and R. Simmons. 1988. Patterns of misunderstanding: An integrative model for Science, Math, and Programming. *Rev. of Ed. Res.* 48 (3): 303-326
- Perkins, D. N. and G. Salomon 1991. Teaching for Transfer. in *Developing Minds*. Vol. 1 A. Costa (ed.) ASCD Alexandria, Va. p. 215 - 223.
- Perry, R. 1993. Using different examples of natural selection when teaching biology. *Am. Bio. Teacher.* 55 (4): 241-244.
- Piaget, J. y García, R. 1982. *Psicogénesis e Historia de la Ciencia*. Siglo XXI. ed. S.A. México.
- Piñero, D. 1996. La teoría de la evolución en la biología mexicana: una hipótesis nula. *Ciencias* 42 (abr-jun). 4-8.
- Poggioli, L. 1995. Estrategias Cognoscitivas: una revisión teórica y empírica. en A. Puente, L. Poggioli y A. Navarro (Eds.). *Psicología Cognoscitiva*. McGraw-hill. Venezuela. 153-176.



- Ponce, M. 1984. Explicaciones teleológicas y explicaciones causales en biología. En Otero M.H. (comp.) *Materialismo y Ciencias Naturales*. UNAM. México. 119-137.
- Popper, K.R. 1959. *The Logic of Science Discovery*. Hutchinson, London.
- Posner, G.J., K.A. Strike, P.W. Hewson, and W.A. Gertzog. 1982. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Sci. Ed.* 66 (2): 211-227
- Pozo, J.I. y M.A. Gómez Crespo. 1998. *Aprender y Enseñar Ciencia*. Ed. Morata, S.L. Madrid.
- Puente, A. 1995. Del estudio de la conducta al estudio de los procesos cognoscitivos. en A. Puente, L. Poggioli y A. Navarro (Eds.) *Psicología Cognoscitiva*. McGraw-Hill. Venezuela p. 59-71.
- Reif, F. and J.J. Larkin. 1991. Cognition in scientific and every domains: comparison and learning implications. *J. Res. Sci. Teach.* 28 (9): 733-760
- Riss, P.H. 1993. A ratio explanation for evolution. *Sci. Scope.* 16 (4): 36:44.
- Ritchie, S. M. 1994. Metaphor as a tool for constructivist science teaching. *Int. J. Sci. Ed.* 16 (3), 293-303.
- Rodríguez Ch. J. M. 1983. La educación superior de la biología en México. *Foro Universitario.* 34: 43-53
- Rodríguez, M.M. y M. Carretero. 1997. Adquisición de conocimiento y cambio conceptual. Implicaciones para la enseñanza de la ciencia. En M. Carretero (Ed.). *Construir y Enseñar las Ciencias Experimentales*. AIQUE. Argentina: 47-73.
- Roger, J.M. and G.W. Cable. 1976. Illustrations, analogies, and facilitative transfer in prose learning. *J. Ed. Psych.* 68 (2): 205-209
- Rosales, C. 1990. *Evaluar es Reflexionar sobre la Enseñanza*. Narcea, S.A. de Ediciones. Madrid.
- Rosenthal, D.B. 1985. Evolution in High School Biology textbooks: 1963-1983. *Sci. Ed.* 69 (5): 637-648
- Roth, W.M. 1994. Student views of collaborative concept mapping: An emancipatory research project. *Sci. Ed.* 78 (1): 1-34.
- Rudolph, J. and J. Stewart. 1998. Evolution and the nature of science: On the historical discord and its implications for education. *J. Res. Sci. Teach.* 35 (10): 1069-1089.
- Ruiz, R. 1996. Una definición del darwinismo. Mecanoescrito.
- Ruiz, R. y M.C. Hernández. 1997. La Construcción de Conocimiento Científico: Una Explicación Evolucionista. III Seminario sobre Cognición, Epistemología y Enseñanza de la Ciencia. Fac. de Ciencias UNAM.

- Ruiz, R. Y F.J.Ayala. 1998. *El Método en las Ciencias. Epistemología y Darwinismo*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Rutherford, F.J. and A. Ahlgren, 1990. *Science for all Americans*. New York. Oxford. Univ. Press.
- Scharmann, L.C. 1992. Teaching evolution: Understanding and applying the nature of science. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (4): 375-388
- Scharmann, L.C. 1993. Teaching Evolution: Designing succesful instruction. *Am. Bio. Teach.* 55 (8): 481-486
- Schoon, K.J. and W.J. Boone. 1998. Self-efficacy and alternative conceptions of science of preservice elementary teachers. *Sci. Ed.* 82: 553-568.
- Settlage, J. 1994. Conceptions of Natural Selection: A Snapshot of the Sense - Making Process. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 449 - 457.
- Settlage, J. and M. Jensen. 1996. Investigating the inconsistencies in College student responses to natural selection test questions. *The Electronic J. of Sci. Ed.* 1 (1): sept.
- Shankar, G. and G. D. Skoog. 1993. Emphasis given in evolution and creationism by Texas High School biology teachers. *Sci. Ed.* 77(2): 147-166.
- Shymansky, J. A. and W.C. Kyle 1988. A summary of research in science education. *Sci. Ed.* 72 (3): 249-400.
- Skoog, G. 1984. The coverage of evolution in high school biology textbooks published in the 1980. *Sci. Ed.* 68 (2): 117-128.
- Smith, M. 1993. Teaching stratgies associated with conceptual change learning in science. *J. Res. Sci. Teach.* 30 (2): 111-126.
- Smith, M. 1994. Counterpoint; belief, understanding and the teaching of evolution. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5) 591 - 597.
- Solís-C.V.P. y Solís C.R.P. 1994. La ciencia y la revolución cognitiva. *Ciencia* 45: 291-302.
- Solomon, J., J. Duveen and L. Scott. 1992. Teaching about the nature of science through history: Action research in the classroom. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (4): 409-421.
- Stavy,R. 1991. Using analogy to overcome misconceptions about conservation of matter. *J. Res. Sci. Teach.* 28 (4): 305-313.
- Stewart, I. 1992. Juegos matemáticos. Representación matematizada de las especies, de sus aptitudes y del curso de su evolución. *Ciencia y desarrollo*. 85-91.
- Stofflett, R.T. 1994. The accommodation of science pedagogical knowledge: The application of conceptual change constructs to teacher education. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (8): 787-810.

- Stoneman, C. 1997. Spiritual biology. *J. Bio. Ed.* 31 (2): 131-134.
- Strike, K.A. and Posner, G. 1993. A revisionist theory of conceptual change. In: Duschl, R. and Hamilton, R. (Eds.) *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany, N.Y. State University of New York Press. p. 148-176.
- Stufflebeam, D.L., y A.J. Shinkfield. 1989. *Evaluación Sistemática*. Ediciones Paidós. Barcelona.
- Suárez, M., R.Pías, P. Membiela and D.Dapía. 1998. Classroom environment in the implementation of an innovative curriculum project in science education. *J. Res. Sci. Teach.* 35 (6): 655-671.
- Swartz, F. A., O. R. Anderson and F. J. Swetz. 1994. Evolution in secondary school textbooks of the PRC, the USA and the latter stages of the USSR. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 475 - 505.
- Tamir, P. And A. Zohar, 1991. Anthropomorfism and teleology in reasoning about biological phenomena. *Sci. Ed.* 75 (1): 57-67.
- Tirado S. y A. López T. 1994. Problemas de la enseñanza de la Biología en México. *Perfiles Educativos.* 66: 51-57
- Thagard, P. 1992. Analogy, explanation and education. *J. Res. Sci. Teach.* 29 (6): 537-544.
- Thiele, R.B. and D.F. Treagust. 1995. Analogies in chemistry textbooks. *Int. J. Sci. Ed.* 17 (6): 783-795.
- Thorley, N.R. and R.T. Stofflett. 1996. Representation of the conceptual change model in science teacher education. *Sci. Ed.* 80 (3): 317-339.
- Treagust, D.F., A.G. Harrison and G.J. Venville. 1996. Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. *Int. J. Sci. Ed.* 18 (2): 213-229.
- Trowbridge, J. E. and J. H. Wandersee. 1994. Identifying critical junctures in learning in a college course on evolution. *J. Res.Sci. Teach.* 31 (5): 459-473.
- Tyson, L.M., G.J.Venville, A.G.Harrison and D.F.Treagust. 1997. A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Sci. Ed.* 81:387-404.
- Vázquez, A.A. 1994. El paradigma de las concepciones alternativas y la formación de los profesores de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias.* 12 (1): 3-14.
- Villani, A. 1992. Conceptual change in science and science education. *Sci. Ed.* 76 (2): 223-237.
- Vincenzo Bizzo, N. M. 1994. From Down House Landlord to Brazilian High School Students: What has happened to evolutionary knowledge on the way? *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 537 - 556.
- Volpe, E.P. 1984. The shame of science education. *Amer. Zool.* 24: 433-441

- Vosniadou, S. and W.F. Brewer. 1992. Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psych.* 24: 535-585.
- Vosniadou, S. 1994. Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction.* 4: 45-69.
- Wallace, J.D. 1990. The concept map as a research tool: Exploring conceptual change in biology. *J. Res. Sci. Teach.* 27 (10): 1033-1052.
- Wandersee, J.H. 1986. Can the history of science help science educators anticipate students' misconceptions? *J. Res. Sci. Teach.* 23 (7): 581-597
- Watts, M. and D. Bentley. 1994. Humanizing and feminizing school science: reviving anthropomorphic and animistic thinking in constructivist science education. *Int. J. Sci. Educ.* 16 (1): 83-97.
- Wellman, B. 1991. Making Science Learning More Science - Like. in *Developing Minds* Vol. 1 Arthur L. Costa (ed.) ASCD Alexandria, Virginia p. 159 - 163.
- White, R.T. and R.F. Gunstone. 1989. Metalearning and conceptual change. *Int. J. Sci. Ed.* 11 (special issue): 577-586
- Whitfield, P. 1993. *From so Simple a Beginning*. Macmillan Pub. Co. New York 220 p.
- Woods, P. 1989. La Escuela por Dentro. *La Etnografía en la Investigación Educativa*. Paidós. Temas de Educación. Barcelona.
- Woolfolk, A. E. 1990. *Psicología Educativa*. Prentice-Hall, México.
- Yager, R.E. and J.E. Penick. 1984. What students say about science teaching and science teachers. *Sci. Ed.* 68 (2): 143-152
- Yarroch, W.L. 1991. The implications of content versus item validity on science tests. *J. Res. Sci. Teach.* 28 (7): 619-629.
- Zohar, A. 1998. Result or conclusion? Students' differentiation between experimental results and conclusions. *J. Bio. Ed.* 32 (1): 53-59.
- Zohar, A. and S. Ginossar. 1998. Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education-heretical suggestions. *Sci. Ed.* 82: 679-697.
- Zuzovsky, R. 1994. Conceptualizing a teaching experience on the development of the idea of evolution: an epistemological approach to the education of science teachers. *J. Res. Sci. Teach.* 31 (5): 557-574.

# Apéndices

- I. Programas de Estudio
- II. Postprueba
- III. Pruebas de Hipótesis
- IV. Apoyos didácticos para la enseñanza de la evolución
- V. Analogías

## APÉNDICE I

### PROGRAMAS DE ESTUDIO

#### Programa de Biología I de Primer Grado de Secundaria

Tema: *Evolución: el cambio de los seres vivos en el tiempo*

- Ideas preevolucionistas
- Las primeras ideas. el fijismo
  - Lamarck
- Darwin y la selección natural
  - Darwin y el viaje del Beagle
  - Las influencias de Darwin: Malthus y Wallace
  - La variabilidad y sus fuentes
  - La selección natural
  - La publicación de El origen de las especies
- Evolución, diversidad y adaptación
  - El origen de la diversidad biológica y la especiación
  - El principio de adaptación
  - El neodarwinismo: nuevas evidencias para la teoría de la evolución

**Programa de Biología del Sistema CCH (Biología II)**

**SEGUNDA UNIDAD**

**¿Cómo se explica la evolución y diversidad de los seres vivos?**

HORAS	TEMÁTICA	OBJETIVOS EDUCATIVOS	SUGERENCIAS DIDÁCTICAS		
8	1. Explicaciones sobre la existencia y diversidad de los seres vivos en los siglos XVIII-XIX.	<p><b>PARTICULARES</b></p> <p>Al finalizar la unidad, el alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Distinguirá las evidencias que fundamentan las teorías actuales, para explicar los cambios evolutivos que han dado como resultado la diversidad biológica.</li> <li>- Identificará los factores que han favorecido la evolución y diversificación de los seres vivos.</li> <li>- Reconocerá la importancia de la taxonomía para la clasificación de los seres vivos</li> <li>- Desarrollará las habilidades de observación, análisis, síntesis, comunicación oral y escrita, así como una actitud crítica y científica que utilizará al reconocer las teorías y modelos, y su capacidad explicativa y productiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de información: textos, artículos y libros que permitan al estudiante manejar los conceptos y comprender las teorías que explican la evolución y diversidad de los seres vivos.</li> <li>- Análisis de estudios clásicos que permitan reconocer la metodología científica</li> <li>- Análisis y ubicación de estas teorías por su importancia y trascendencia en el momento en que surgieron.</li> <li>- Estas actividades podrán complementarse con la proyección de películas, audiovisuales o la asistencia o conferencias y su posterior análisis.</li> <li>- Investigaciones de campo que permitan al alumno elaborar un inventario de las especies para reafirmar el concepto de biodiversidad y su importancia.</li> <li>- Análisis de la ubicación del hombre como parte de la naturaleza.</li> <li>- Realización de juegos, ejercicios y actividades de investigación en museos como Universum y de Historia Natural y visitas al Jardín Botánico, que permitan comprender la diversidad del mundo vivo, así como deducir la importancia de las jerarquías taxonómica.</li> </ul>		
8	1.1 El concepto de cambio en los seres vivos, hasta la teoría de Lamarck.				
8	1.2 Teoría de Darwin. Su importancia en la ciencia.				
10	2. Explicaciones actuales sobre la existencia y diversidad de los seres vivos				
	2.1 Síntesis evolutiva propuesta por Mayr-Dobzhansky-Simpson.				
	2.2 Equilibrio puntuado, neutralismo y especiación.				
	3. La biodiversidad				
	3.1 Concepto e importancia de biodiversidad				
	- Relación entre el proceso evolutivo y biodiversidad (variación - adaptación).				
	3.2 Características de las categorías taxonómicas.				
	- Clasificación de Whittaker.				
	Características generales de los cinco reinos.				

**Programa de Biología de la ENP (Biología III)**

**4ª. Unidad; Evolución de los seres vivos**

¿Cómo se explica la evolución y diversidad de los seres vivos?

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO
8	<p>Introducción a la unidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La evolución y su papel en la diversidad biológica.</li> </ul>	<p>En esta unidad se estudiará a la evolución como mecanismo característico de la vida y principal responsable de la diversidad biológica.</p>
	<p>Evidencias de la evolución:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fósiles</li> <li>• Filogenia</li> <li>• ciencias que aportan pruebas para la evolución: paleontología, anatomía, embriología y genética comparadas.</li> <li>• distribución geográfica de las especies</li> <li>• adaptación</li> </ul>	<p>Se estudiarán algunas de las evidencias que permiten la comprobación del proceso evolutivo, incluyendo el análisis de las aportaciones de las diferentes ciencias.</p>
7	<p>Antecedentes y desarrollo de la Teoría de la Evolución</p> <p>Lamarck</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Darwin</li> <li>• Síntesis moderna.</li> </ul>	<p>Una vez que se han estudiado las evidencias de la evolución, se analizará de manera sencilla la síntesis moderna, para lo cual se estudiarán sus antecedentes en los trabajos de Lamarck y Darwin y su desarrollo a partir de los avances en el conocimiento científico. Se buscará que los alumnos comprendan los aspectos que permiten explicar la evolución y su relación con la diversidad biológica:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Variaciones entre especies</li> <li>genotipos que sobreviven más que otros</li> <li>cambios en la abundancia de los diferentes organismos</li> </ol> <p>De este modo se buscare que el alumno entienda que la evolución existe y que es un proceso biológico fundamental, complejo, cuya explicación aún está en discusión. (sic)</p> <p>Se analizará el lugar del hombre en la naturaleza, en el proceso evolutivo y su responsabilidad frente a las formas de vida actuales resultantes de dicho proceso.</p>
Total de horas: 15	<p>Integración de los conocimientos de la unidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Concepto de Evolución</li> </ul>	<p>Se retomará el problema inicial y se revisará la manera en que el estudio de los contenidos de la unidad aportaron elementos para su abordaje y en algunos casos su solución. Se analizará lo estudiado en la unidad con el fin de que el alumno comprenda que a lo largo de ella ha ido construyendo su concepto de evolución y lo identifique como un principio unificador de los seres vivos y su relación con la diversidad biológica.</p>





**B. Instrucciones:**

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

1. Los halcones son aves capaces de volar a más de 100 km/h al cazar a sus presas. ¿De qué manera explicarías cómo surgió esa habilidad para volar tan rápido, si se supone que los ancestros de los halcones volaban tan sólo a 30 km/h?

- 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 bacterias son actualmente resistentes a los antibióticos como la penicilina. Sin embargo, cuando se empezó a usar la penicilina casi todas las bacterias morían.

Actualmente muchas poblaciones de bacterias resisten a la penicilina porque:

- L) Las bacterias fueron desarrollando poco a poco resistencia a la penicilina, heredándosela a sus hijos; los que a su vez fueron más resistentes que sus abuelos.
- T) La naturaleza formó bacterias resistentes a los antibióticos
- O) Algunas bacterias aprendieron a adaptarse a la penicilina.
- D) Algunas bacterias eran resistentes al antibiótico 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 halcones actuales pueden volar a velocidades hasta de 100 km/hr. Supón que sus ancestros volaban a velocidades menores. La habilidad de volar más rápido probablemente se debió a que:
  1. Surgió en todos los halcones en poco tiempo.
  2. Hubo un aumento en el porcentaje de halcones más veloces.

**PORQUE:**

- A. En un momento hubo un cambio heredable que fue seleccionado en algunos halcones.
  - B. Mientras los halcones usaban más sus alas, más veloces se volvieron y eran mejores cazadores.
  - C. La necesidad de atrapar a sus presas, hizo que volaran más rápido y las alcanzaran con mayor facilidad.
- 2.- Ciertas gacelas de patas largas pueden alimentarse con mayor facilidad en zonas de pastos altos. Si se transportara a una gran población de gacelas de patas cortas a una isla remota llena de pastizales altos:
    1. Algunas gacelas vivirían y otras morirían.
    2. Las gacelas desarrollarían poco a poco patas largas.

**PORQUE:**

- A. Las patas de todas las gacelas cambiarían lentamente hasta que ayudaran mejor a la alimentación.
  - B. Las pocas gacelas que tuvieran patas largas sobrevivirían para reproducirse.
  - C. Las patas de cada gacela cambiarían de la misma manera puesto que todas las gacelas están relacionadas entre sí.
- 3.- Los osos que viven en Siberia 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 los osos ya que:
    1. La necesidad de conservar el calor hizo que su capa de grasa engrosara.
    2. Cada generación más osos iban teniendo una capa de grasa gruesa.

**PORQUE:**

- A. Los osos querían adaptarse al 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, los mosquitos causantes de la malaria eran controlados con el insecticida D.D.T. Recientemente los químicos han encontrado que los mosquitos ya no son atacados por el D.D.T. La razón de este cambio es que:
- 1. Cada generación un mayor número de mosquitos no son afectados por el D.D.T.
  - 2. A través de los años, todos los mosquitos van siendo gradualmente menos afectados por el D.D.T.

**PORQUE:**

- A. En cada generación, los mosquitos que sobrevivían al D.D.T., tenían descendencia.
  - B. La necesidad de sobrevivir hizo que los mosquitos cambiaran.
  - C. El uso del D.D.T. provocó una mutación en el ADN de los mosquitos.
- 5.- Una población de peces estaba formada por individuos que tenían escamas oscuras o claras. El estanque donde solían vivir tenía fondos con rocas ya sea oscuras o claras. Recientemente una constructora sacó las rocas claras y dejó las oscuras.

El efecto de la extracción de rocas claras sobre los peces será que cada generación:

- 1. Los peces claros desarrollarán escamas cada vez más oscuras.
- 2. Habrá una proporción mayor de peces oscuros en la población.

**PORQUE:**

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

6.- Algunos chapulines pueden dar saltos hasta de 1 m de altura.

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

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

PORQUE:

- A. Mientras más usaban sus patas, los chapulines podían efectuar saltos cada vez más altos.
  - B. Primero hubo un cambio genético en unos cuantos chapulines y éstos se reprodujeron más.
  - C. La necesidad de evitar ser atrapados por sus depredadores hizo que saltaran más alto.
- 7.- Las flores que tienen una corola corta son más fácilmente polinizadas por una avispa. Si una gran población de flores fuera sembrada en un jardín lleno de avispas que sólo polinizan flores de corola larga:

1. Algunas flores morirían y otras vivirían.
2. Las flores desarrollarían cada vez corolas más largas.

PORQUE:

- A. Las flores que tengan corolas largas sobrevivirán hasta reproducirse.
  - B. Las flores de corola corta necesitan corolas largas para sobrevivir.
  - C. Las corolas de las flores cambiarían lentamente hasta que tuvieran la longitud necesaria para ser polinizadas.
- 8.- Una población de perros esquimales vive en un área que aunque normalmente es fría, ha tenido varios años de veranos muy calientes y secos. Si los veranos continuaran así en el futuro, se esperaría que:
1. Algunos perros sobrevivirán pero otros morirán por la sequía.
  2. Todos los perros se adaptarán al clima seco.

## PORQUE:

- A. La necesidad de sobrevivir a los veranos causó que los perros desarrollaran un pelaje más corto y menos denso.
  - B. Algunos perros tienen la capacidad de perder el calor y sobrevivir a la sequía.
  - C. Los perros lograrán soportar el clima cálido y seco y sobrevivir a la sequía.
- 9.- Los halcones que cazan al vuelo tienen un agudo sentido de la vista, pero sus ancestros pudieron no haber visto tan bien. Los halcones actuales tienen un mejor sentido de la vista que:
- 1. La necesidad de cazar al vuelo determinó que aumentara su sentido de la vista.
  - 2. En cada generación, más halcones veían mejor.

## PORQUE:

- A. Para cazar mejor, los halcones necesitaban ver mejor a sus presas en movimiento que sus ancestros.
  - B. Las crías heredaron mejor sentido de la vista que sus padres y a su vez lo transmitieron a sus hijos.
  - C. Los halcones que veían mejor, se alimentaban mejor y tenían más crías.
- 10.- En una población de mariposas algunas tienen las alas rojas, mientras que otras las tienen amarillas. En el lugar donde viven estas mariposas, hay flores con pétalos rojos y con pétalos amarillos. Hace poco una enfermedad atacó a las flores amarillas y acabó con ellas. El efecto que tendrá la desaparición de flores amarillas sobre las mariposas, es que:
- 1. Las mariposas amarillas perderán poco a poco su color.
  - 2. Aumentará la proporción de mariposas rojas.

## PORQUE:

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

APÉNDICE III

PRUEBAS DE HIPÓTESIS

TABLA I P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) Secundaria/preprueba	Calificación	90	2.71	1.39	(1,2)	9.60	Diferentes
	Promedio	30	6.60	2.07	(1,3)	10.72	Diferentes
	total	18	7.86	1.73	(2,3)	2.27	Diferentes
	Calificación	90	3.12	2.74	(1,2)	1.66	Iguales
	Nuevos	30	4.03	2.55	(1,3)	3.33	Diferentes
		18	5.94	2.90	(2,3)	2.31	Diferentes
	Calificación	90	3.34	2.39	(1,2)	4.51	Diferentes
	Variación	30	6.23	3.23	(1,3)	7.31	Diferentes
		18	8.44	2.31	(2,3)	2.75	Diferentes
	Calificación	90	4.57	2.70	(1,2)	4.62	Diferentes
	Proporciones	30	7.37	2.93	(1,3)	3.84	Diferentes
		18	7.89	3.01	(2,3)	0.59	Iguales
(2) Secundaria/sin antecedentes/postprueba	%	90	19%	39%	(1,2)	6.00	Diferentes
	1	30	73%	44%	(1,3)	6.80	Diferentes
	D	18	89%	31%	(2,3)	1.42	Iguales
	%	90	7%	25%	(1,2)	4.91	Diferentes
	2	30	53%	50%	(1,3)	5.69	Diferentes
	D	18	72%	45%	(2,3)	1.36	Iguales
	Calificación	90	1.72	1.72	(1,2)	8.21	Diferentes
	CD	30	6.20	2.82	(1,3)	7.80	Diferentes
		18	7.06	2.58	(2,3)	1.08	Iguales
	Calificación	90	1.80	1.42	(1,2)	0.34	Iguales
	CA	30	1.70	1.39	(1,3)	1.49	Iguales
		18	1.33	0.77	(2,3)	1.19	Iguales
(3) Secundaria/con antecedentes/postprueba	Calificación	90	1.08	1.05	(1,2)	0.09	Iguales
	CI	30	1.10	1.06	(1,3)	0.95	Iguales
		18	0.78	1.06	(2,3)	1.01	Iguales
	Calificación	90	5.27	2.33	(1,2)	12.83	Diferentes
	FC	30	1.00	1.23	(1,3)	8.49	Diferentes
		18	0.83	1.29	(2,3)	0.45	Iguales
	%	90	17%	38%	(1,2)	4.61	Diferentes
	CD	30	62%	49%	(1,3)	4.19	Diferentes
		18	71%	46%	(2,3)	0.62	Iguales
	%	90	18%	38%	(1,2)	0.13	Iguales
	CA	30	17%	38%	(1,3)	0.44	Iguales
		18	13%	34%	(2,3)	0.35	Iguales

TABLA II P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) Secundaria/con antecedentes/postprueba	Calificación	18	7.86	1.73	(1,2)	2.16	Diferentes
	Promedio	30	6.86	1.19	(1,3)	3.92	Diferentes
	total	30	6.25	1.44	(2,3)	1.79	Iguales
	Calificación	18	5.94	2.90	(1,2)	1.80	Iguales
	Nuevos	30	4.37	2.97	(1,3)	2.72	Diferentes
		30	3.80	3.19	(2,3)	0.72	Iguales
	Calificación	18	8.44	2.31	(1,2)	1.96	Diferentes
	Variación	30	7.00	2.69	(1,3)	2.51	Diferentes
		30	6.83	2.65	(2,3)	0.25	Iguales
	Calificación	18	7.89	3.01	(1,2)	0.45	Iguales
	Proporciones	30	7.50	2.74	(1,3)	0.61	Iguales
		30	7.40	3.17	(2,3)	0.13	Iguales
(2) Secundaria/con antecedentes mas después postprueba	%	18	89%	31%	(1,2)	0.23	Iguales
	1	30	87%	34%	(1,3)	1.86	Iguales
	D	30	70%	46%	(2,3)	1.60	Iguales
	%	18	72%	45%	(1,2)	2.33	Diferentes
	2	30	40%	49%	(1,3)	3.61	Diferentes
	D	30	30%	46%	(2,3)	0.82	Iguales
	Calificación	18	7.06	2.58	(1,2)	0.36	Iguales
	CD	30	6.80	2.14	(1,3)	0.66	Iguales
		30	6.67	1.97	(2,3)	0.24	Iguales
	Calificación	18	1.33	0.77	(1,2)	2.20	Diferentes
	CA	30	0.83	0.75	(1,3)	2.37	Diferentes
		30	0.87	0.73	(2,3)	0.21	Iguales
(3) Secundaria/con antecedentes dos meses después/postprueba	Calificación	18	0.78	1.06	(1,2)	1.94	Iguales
	Ci	30	1.47	1.38	(1,3)	1.57	Iguales
		30	1.30	1.47	(2,3)	0.46	Iguales
	Calificación	18	0.83	1.29	(1,2)	0.08	Iguales
	FC	30	0.80	1.13	(1,3)	0.83	Iguales
		30	1.10	1.24	(2,3)	0.98	Iguales
	%	18	71%	46%	(1,2)	0.19	Iguales
	CD	30	68%	47%	(1,3)	0.33	Iguales
		30	67%	47%	(2,3)	0.11	Iguales
	%	18	13%	34%	(1,2)	0.53	Iguales
	CA	30	8%	28%	(1,3)	0.57	Iguales
		30	9%	28%	(2,3)	0.06	Iguales

TABLA III P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) CCH 6°/tradicional/preprueba	Calificación	21	3.51	1.53	(1,2)	0.11	Iguales
	Promedio	23	3.57	2.06	(1,3)	0.26	Iguales
	total	18	3.63	1.42	(2,3)	0.11	Iguales
	Calificación	21	4.38	4.13	(1,2)	1.11	Iguales
	Nuevos	23	5.70	3.76	(1,3)	0.20	Iguales
		18	4.61	3.24	(2,3)	1.00	Iguales
	Calificación	21	3.33	2.87	(1,2)	1.20	Iguales
	Variación	23	4.39	2.89	(1,3)	1.01	Iguales
		18	4.17	2.33	(2,3)	0.27	Iguales
	Calificación	21	4.86	2.54	(1,2)	0.24	Iguales
	Proporciones	23	4.65	3.24	(1,3)	0.03	Iguales
		18	4.83	3.90	(2,3)	0.16	Iguales
(2) CCH 6°/sin analogías/preprueba	%	21	29%	45%	(1,2)	0.89	Iguales
	1	23	17%	38%	(1,3)	1.46	Iguales
	D	18	11%	31%	(2,3)	0.58	Iguales
	%	21	5%	21%	(1,2)	0.08	Iguales
	2	23	4%	20%	(1,3)	0.11	Iguales
	D	18	8%	23%	(2,3)	0.19	Iguales
	Calificación	21	3.52	2.50	(1,2)	0.06	Iguales
	CD	23	3.48	2.09	(1,3)	1.03	Iguales
		18	4.17	1.50	(2,3)	1.23	Iguales
	Calificación	21	1.14	1.06	(1,2)	0.38	Iguales
	CA	23	1.26	1.05	(1,3)	0.47	Iguales
		18	1.28	0.83	(2,3)	0.07	Iguales
(3) CCH 6°/con analogías/preprueba	Calificación	21	1.14	0.79	(1,2)	0.35	Iguales
	Ci	23	1.22	0.74	(1,3)	1.10	Iguales
		18	1.44	0.92	(2,3)	0.83	Iguales
	Calificación	21	4.10	2.53	(1,2)	0.13	Iguales
	FC	23	4.00	2.47	(1,3)	1.57	Iguales
		18	3.11	1.45	(2,3)	1.44	Iguales
	%	21	35%	48%	(1,2)	0.03	Iguales
	CD	23	35%	48%	(1,3)	0.42	Iguales
		18	42%	49%	(2,3)	0.45	Iguales
	%	21	11%	32%	(1,2)	0.12	Iguales
	CA	23	13%	33%	(1,3)	0.14	Iguales
		18	13%	33%	(2,3)	0.02	Iguales



TABLA IV P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS		PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN	
		Alumnos	Media				Desviación estándar
(1) CCH 6°/tradicional/preprueba	Calificación	21	3.51	1.53	(1,2)	0.92	Iguales
	Promedio	21	3.95	1.58	(1,3)	0.52	Iguales
	total	30	3.77	2.04	(2,3)	0.35	Iguales
	Calificación	21	4.38	4.13	(1,2)	0.11	Iguales
	Nuevos	21	4.52	3.78	(1,3)	0.83	Iguales
		30	5.33	3.84	(2,3)	0.75	Iguales
	Calificación	21	3.33	2.97	(1,2)	0.72	Iguales
	Variación	21	4.00	3.02	(1,3)	1.47	Iguales
		30	4.53	2.73	(2,3)	0.64	Iguales
	Calificación	21	4.86	2.54	(1,2)	0.06	Iguales
(2) CCH 6°/tradicional/postprueba	Proporciones	21	4.81	3.09	(1,3)	0.31	Iguales
		30	5.13	3.66	(2,3)	0.34	Iguales
	%	21	29%	45%	(1,2)	0.66	Iguales
	1	21	38%	49%	(1,3)	0.42	Iguales
	D	30	23%	42%	(2,3)	1.13	Iguales
	%	21	5%	21%	(1,2)	0.00	Iguales
	2	21	5%	21%	(1,3)	0.72	Iguales
	D	30	10%	30%	(2,3)	0.72	Iguales
	Calificación	21	3.52	2.50	(1,2)	0.33	Iguales
	CD	21	3.76	2.19	(1,3)	0.18	Iguales
(3) CCH/preprueba		30	3.40	2.25	(2,3)	0.57	Iguales
	Calificación	21	1.14	1.06	(1,2)	0.32	Iguales
	CA	21	1.06	0.74	(1,3)	0.52	Iguales
		30	1.30	1.09	(2,3)	0.98	Iguales
	Calificación	21	1.14	0.79	(1,2)	2.71	Diferentes
	CI	21	1.95	1.12	(1,3)	0.14	Iguales
		30	1.17	0.75	(2,3)	2.78	Diferentes
	Calificación	21	4.10	2.53	(1,2)	1.24	Iguales
	FC	21	3.19	2.20	(1,3)	0.00	Iguales
		30	4.10	2.41	(2,3)	1.40	Iguales
%	21	35%	48%	(1,2)	0.16	Iguales	
CD	21	38%	48%	(1,3)	0.09	Iguales	
	30	34%	47%	(2,3)	0.26	Iguales	
%	21	11%	32%	(1,2)	0.09	Iguales	
CA	21	11%	31%	(1,3)	0.17	Iguales	
	30	13%	34%	(2,3)	0.28	Iguales	

TABLA V P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS		PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN	
		Alumnos	Media				Desviación estándar
(1) CCH 6°/sin analogías/postprueba	Calificación	23	6.84	1.71	(1,2)	1.48	Iguales
	Promedio	18	7.59	1.53	(1,3)	0.60	Iguales
	total	22	6.53	1.50	(2,3)	2.20	Diferentes
	Calificación	23	6.09	3.55	(1,2)	1.22	Iguales
	Nuevos	18	7.26	2.70	(1,3)	0.41	Iguales
		22	6.55	3.42	(2,3)	0.75	Iguales
	Calificación	23	5.78	3.58	(1,2)	0.53	Iguales
	Variación	18	6.33	3.03	(1,3)	0.04	Iguales
		22	5.82	3.32	(2,3)	0.51	Iguales
	Calificación	23	6.87	2.70	(1,2)	0.60	Iguales
(2) CCH 6°/con analogías/postprueba	Proporciones	18	7.44	3.26	(1,3)	0.30	Iguales
		22	6.59	3.23	(2,3)	0.82	Iguales
	%	23	87%	34%	(1,2)	0.19	Iguales
	1	18	89%	31%	(1,3)	0.81	Iguales
	D	22	77%	42%	(2,3)	1.00	Iguales
	%	23	78%	41%	(1,2)	0.41	Iguales
	2	18	83%	37%	(1,3)	0.41	Iguales
	D	22	73%	45%	(2,3)	0.82	Iguales
	Calificación	23	4.48	1.91	(1,2)	2.50	Diferentes
	CD	18	5.94	1.76	(1,3)	0.41	Iguales
(3) CCH 6°/con analogías mes después postprueba		22	4.23	1.90	(2,3)	2.95	Diferentes
	Calificación	23	1.00	0.67	(1,2)	1.33	Iguales
	CA	18	0.72	0.67	(1,3)	0.42	Iguales
		22	1.09	0.68	(2,3)	1.73	Iguales
	Calificación	23	2.04	1.07	(1,2)	0.87	Iguales
	CI	18	1.67	1.53	(1,3)	0.12	Iguales
		22	2.00	1.07	(2,3)	0.77	Iguales
	Calificación	23	2.46	2.17	(1,2)	1.56	Iguales
	FC	18	1.67	1.08	(1,3)	0.29	Iguales
		22	2.88	2.10	(2,3)	1.96	Diferentes
%	23	45%	50%	(1,2)	0.54	Iguales	
CU	18	59%	49%	(1,3)	0.16	Iguales	
	22	42%	49%	(2,3)	1.09	Iguales	
%	23	10%	30%	(1,2)	0.32	Iguales	
CA	18	7%	26%	(1,3)	0.09	Iguales	
	22	11%	31%	(2,3)	0.41	Iguales	

TABLA VI PRUEBAS DE HIPÓTESIS (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Medio	Desviación estándar			
(1) CCH 6ª/tradicional/postprueba	Calificación	21	3.95	1.58	(1,2)	5.83	Diferentes
	Promedio	23	6.84	1.71	(1,3)	7.45	Diferentes
	total	18	7.59	1.53	(2,3)	1.48	Iguales
	Calificación	21	4.52	3.78	(1,2)	1.42	Iguales
	Nuevos	23	6.09	3.55	(1,3)	2.72	Diferentes
		18	7.28	2.70	(2,3)	1.22	Iguales
	Calificación	21	4.00	3.02	(1,2)	1.79	Iguales
	Variación	23	5.78	3.58	(1,3)	2.45	Diferentes
		18	6.33	3.03	(2,3)	0.53	Iguales
	Calificación	21	4.81	3.09	(1,2)	2.35	Diferentes
	Proporciones	23	6.87	2.70	(1,3)	2.62	Diferentes
		18	7.44	3.26	(2,3)	0.60	Iguales
(2) CCH 6ª/sin analogías/postprueba	%	21	38%	49%	(1,2)	3.85	Diferentes
	1	23	87%	34%	(1,3)	4.05	Diferentes
	D	18	89%	31%	(2,3)	0.19	Iguales
	%	21	5%	21%	(1,2)	7.52	Diferentes
	2	23	78%	41%	(1,3)	7.96	Diferentes
	D	18	83%	37%	(2,3)	0.41	Iguales
	Calificación	21	3.76	2.19	(1,2)	1.14	Iguales
	CD	23	4.48	1.97	(1,3)	3.53	Diferentes
		18	5.94	1.76	(2,3)	2.50	Diferentes
	Calificación	21	1.05	0.74	(1,2)	0.23	Iguales
	CA	23	1.00	0.67	(1,3)	1.49	Iguales
		18	0.72	0.67	(2,3)	1.33	Iguales
(3) CCH 6ª/con analogías/postprueba	Calificación	21	1.95	1.12	(1,2)	0.27	Iguales
	CI	23	2.04	1.07	(1,3)	0.65	Iguales
		18	1.67	1.53	(2,3)	0.87	Iguales
	Calificación	21	3.19	2.20	(1,2)	1.08	Iguales
	FC	23	2.48	2.17	(1,3)	2.90	Diferentes
		18	1.67	1.08	(2,3)	1.56	Iguales
	%	21	38%	48%	(1,2)	0.49	Iguales
	CD	23	45%	50%	(1,3)	1.42	Iguales
		18	59%	49%	(2,3)	0.94	Iguales
	%	21	11%	31%	(1,2)	0.05	Iguales
	CA	23	10%	30%	(1,3)	0.37	Iguales
		18	7%	26%	(2,3)	0.32	Iguales

TABLA VII PRUEBAS DE HIPÓTESIS (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Medio	Desviación estándar			
(1) Secundaria/preprueba	Calificación	90	2.71	1.39	(1,2)	2.65	Diferentes
	Promedio	30	3.77	2.04	(1,3)	10.72	Diferentes
	total	18	7.86	1.73	(2,3)	7.41	Diferentes
	Calificación	90	3.12	2.74	(1,2)	2.91	Diferentes
	Nuevos	30	5.33	3.84	(1,3)	3.33	Diferentes
		18	5.94	2.90	(2,3)	0.62	Iguales
	Calificación	90	3.34	2.39	(1,2)	2.13	Diferentes
	Variación	30	4.53	2.73	(1,3)	7.31	Diferentes
		18	8.44	2.31	(2,3)	5.30	Diferentes
	Calificación	90	4.57	2.70	(1,2)	0.77	Iguales
	Proporciones	30	5.13	3.66	(1,3)	3.84	Diferentes
		18	7.89	3.01	(2,3)	2.83	Diferentes
(2) CCH/preprueba	%	90	19%	39%	(1,2)	0.50	Iguales
	1	30	23%	42%	(1,3)	6.80	Diferentes
	D	18	89%	31%	(2,3)	6.13	Diferentes
	%	90	7%	25%	(1,2)	0.54	Iguales
	2	30	10%	30%	(1,3)	5.69	Diferentes
	D	18	72%	45%	(2,3)	5.23	Diferentes
	Calificación	90	1.72	1.72	(1,2)	3.74	Diferentes
	CD	30	3.40	2.25	(1,3)	7.80	Diferentes
		18	7.06	2.58	(2,3)	4.99	Diferentes
	Calificación	90	1.80	1.42	(1,2)	2.01	Diferentes
	CA	30	1.30	1.09	(1,3)	1.49	Iguales
		18	1.33	0.77	(2,3)	0.11	Iguales
(3) Secundaria/con antecedentes/postprueba	Calificación	90	1.08	1.05	(1,2)	0.51	Iguales
	CI	30	1.17	0.75	(1,3)	0.95	Iguales
		18	0.78	1.06	(2,3)	1.37	Iguales
	Calificación	90	5.27	2.33	(1,2)	2.32	Diferentes
	FC	30	4.10	2.41	(1,3)	8.49	Diferentes
		18	0.83	1.29	(2,3)	6.11	Diferentes
	%	90	17%	38%	(1,2)	1.76	Iguales
	CD	30	34%	47%	(1,3)	4.19	Diferentes
		18	71%	46%	(2,3)	2.65	Diferentes
	%	90	18%	38%	(1,2)	0.68	Iguales
	CA	30	13%	34%	(1,3)	0.44	Iguales
		18	13%	34%	(2,3)	0.03	Iguales

TABLA VIII P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS		PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN	
		Alumnos	Media				Desviación estándar
(1) CCH/preprueba	Calificación	30	3.77	2.04	(1,2)	2.00	Diferentes
	Promedio total	28	2.88	1.29	(1,3)	1.91	Iguales
		29	2.89	1.35	(2,3)	0.03	Iguales
	Calificación Nuevos	30	5.33	3.84	(1,2)	3.99	Diferentes
		28	1.82	2.82	(1,3)	1.73	Iguales
		29	3.76	2.95	(2,3)	2.54	Diferentes
	Calificación Variación	30	4.53	2.73	(1,2)	0.39	Iguales
		28	4.25	2.70	(1,3)	1.17	Iguales
		29	3.69	2.70	(2,3)	0.78	Iguales
	Calificación Proporciones	30	5.13	3.66	(1,2)	0.83	Iguales
		28	4.50	1.88	(1,3)	1.00	Iguales
		29	4.34	2.02	(2,3)	0.31	Iguales
(2) ENP prepa/área2/preprueba	%	30	23%	42%	(1,2)	1.30	Iguales
	1	28	11%	31%	(1,3)	0.57	Iguales
	D	29	17%	38%	(2,3)	0.71	Iguales
	%	30	10%	30%	(1,2)	0.98	Iguales
	2	28	4%	19%	(1,3)	1.76	Iguales
	D	29	0%	0%	(2,3)	1.02	Iguales
	Calificación CD	30	3.40	2.25	(1,2)	0.48	Iguales
		28	3.14	1.90	(1,3)	1.89	Iguales
		29	2.38	1.78	(2,3)	1.56	Iguales
	Calificación CA	30	1.30	1.09	(1,2)	0.63	Iguales
		28	1.46	0.84	(1,3)	2.17	Diferentes
		29	2.00	1.34	(2,3)	1.83	Iguales
(3) Prepa privada/área 2/preprueba	Calificación CI	30	1.17	0.75	(1,2)	0.46	Iguales
		28	1.07	0.90	(1,3)	0.67	Iguales
		29	1.00	1.13	(2,3)	0.26	Iguales
	Calificación FC	30	4.10	2.41	(1,2)	0.25	Iguales
		28	4.25	2.20	(1,3)	0.81	Iguales
		29	4.62	2.41	(2,3)	0.61	Iguales
	%	30	34%	47%	(1,2)	0.21	Iguales
	CD	28	31%	46%	(1,3)	0.85	Iguales
		29	24%	43%	(2,3)	0.64	Iguales
	%	30	13%	34%	(1,2)	0.18	Iguales
	CA	28	15%	35%	(1,3)	0.72	Iguales
		29	20%	40%	(2,3)	0.54	Iguales

TABLA IX P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS		PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN	
		Alumnos	Media				Desviación estándar
(1) CCH 6ª/con analogías/postprueba	Calificación	18	7.59	1.53	(1,2)	0.50	Iguales
	Promedio total	18	7.86	1.73	(1,3)	1.90	Iguales
		30	6.60	2.07	(2,3)	2.27	Diferentes
	Calificación Nuevos	18	7.28	2.70	(1,2)	1.43	Iguales
		18	5.94	2.90	(1,3)	4.12	Diferentes
		30	4.03	2.55	(2,3)	2.31	Diferentes
	Calificación Variación	18	6.33	3.03	(1,2)	2.35	Diferentes
		18	8.44	2.31	(1,3)	0.11	Iguales
		30	6.23	3.23	(2,3)	2.75	Diferentes
	Calificación Proporciones	18	7.44	3.26	(1,2)	0.43	Iguales
		18	7.89	3.01	(1,3)	0.07	Iguales
		30	7.37	2.93	(2,3)	0.59	Iguales
(2) Secundaria/con antecedentes/postprueba	%	18	89%	31%	(1,2)	0.00	Iguales
	1	18	89%	31%	(1,3)	1.42	Iguales
	D	30	73%	44%	(2,3)	1.42	Iguales
	%	18	83%	37%	(1,2)	0.81	Iguales
	2	18	72%	45%	(1,3)	2.37	Diferentes
	D	30	53%	50%	(2,3)	1.36	Iguales
	Calificación CD	18	5.94	1.76	(1,2)	1.52	Iguales
		18	7.06	2.58	(1,3)	0.39	Iguales
		30	6.20	2.82	(2,3)	1.08	Iguales
	Calificación CA	18	0.72	0.67	(1,2)	2.54	Diferentes
		18	1.33	0.77	(1,3)	3.28	Diferentes
		30	1.70	1.39	(2,3)	1.19	Iguales
(3) Secundaria/sin antecedentes/postprueba	Calificación CI	18	1.67	1.53	(1,2)	2.03	Diferentes
		18	0.78	1.06	(1,3)	1.39	Iguales
		30	1.10	1.06	(2,3)	1.01	Iguales
	Calificación FC	18	1.67	1.08	(1,2)	2.12	Diferentes
		18	0.83	1.29	(1,3)	1.97	Diferentes
		30	1.00	1.23	(2,3)	0.45	Iguales
	%	18	59%	49%	(1,2)	0.71	Iguales
	CD	18	71%	46%	(1,3)	0.18	Iguales
		30	62%	49%	(2,3)	0.62	Iguales
	%	18	7%	26%	(1,2)	0.61	Iguales
	CA	18	13%	34%	(1,3)	1.07	Iguales
		30	17%	38%	(2,3)	0.35	Iguales

TABLA X P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) Universidad privada/nutrición/preprueba	Calificación	14	3.71	1.72	(1,2)	0.10	Iguales
	Promedio	30	3.77	2.04	(1,3)	1.15	Iguales
	total	30	4.35	2.52	(2,3)	0.98	Iguales
	Calificación	14	3.43	3.06	(1,2)	1.76	Iguales
	Nuevos	30	5.33	3.84	(1,3)	1.92	Iguales
		30	5.03	3.38	(2,3)	0.32	Iguales
	Calificación	14	3.21	2.49	(1,2)	1.59	Iguales
	Variación	30	4.53	2.73	(1,3)	1.44	Iguales
		30	4.23	2.97	(2,3)	0.41	Iguales
	Calificación	14	4.43	3.72	(1,2)	0.58	Iguales
	Proporciones	30	5.13	3.66	(1,3)	1.04	Iguales
		30	5.30	2.69	(2,3)	0.20	Iguales
(2) CCH/preprueba	%	14	36%	48%	(1,2)	0.83	Iguales
	1	30	23%	42%	(1,3)	0.47	Iguales
	D	30	30%	46%	(2,3)	0.59	Iguales
	%	14	21%	41%	(1,2)	0.93	Iguales
	2	30	10%	30%	(1,3)	0.13	Iguales
	D	30	20%	40%	(2,3)	1.10	Iguales
	Calificación	14	3.14	2.63	(1,2)	0.32	Iguales
	CD	30	3.40	2.25	(1,3)	1.60	Iguales
		30	4.37	3.30	(2,3)	1.33	Iguales
	Calificación	14	2.14	1.23	(1,2)	2.19	Diferentes
	CA	30	1.30	1.09	(1,3)	1.73	Iguales
		30	1.57	1.32	(2,3)	0.86	Iguales
(3) UNAM biología/1er ingreso matutino/preprueba	Calificación	14	0.71	0.83	(1,2)	1.76	Iguales
	CI	30	1.17	0.75	(1,3)	1.54	Iguales
		30	1.07	0.97	(2,3)	0.45	Iguales
	Calificación	14	3.36	2.56	(1,2)	0.91	Iguales
	FC	30	4.10	2.41	(1,3)	0.57	Iguales
		30	2.97	2.72	(2,3)	1.70	Iguales
	%	14	31%	46%	(1,2)	0.17	Iguales
	CD	30	34%	47%	(1,3)	0.99	Iguales
		30	44%	50%	(2,3)	0.77	Iguales
	%	14	21%	41%	(1,2)	0.67	Iguales
	CA	30	13%	34%	(1,3)	0.57	Iguales
		30	16%	36%	(2,3)	0.30	Iguales

TABLA XI P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) UNAM biología/1er ingreso matutino/preprueba	Calificación	30	4.35	2.52	(1,2)	0.67	Iguales
	Promedio	30	4.74	1.98	(1,3)	2.48	Diferentes
	total	11	6.46	2.37	(2,3)	2.15	Diferentes
	Calificación	30	5.03	3.38	(1,2)	0.50	Iguales
	Nuevos	30	5.47	3.38	(1,3)	0.55	Iguales
		11	5.82	4.31	(2,3)	0.24	Iguales
	Calificación	30	4.23	2.97	(1,2)	1.01	Iguales
	Variación	30	4.97	2.71	(1,3)	1.58	Iguales
		11	5.64	2.34	(2,3)	0.78	Iguales
	Calificación	30	5.30	2.69	(1,2)	0.25	Iguales
	Proporciones	30	5.47	2.50	(1,3)	0.20	Iguales
		11	5.09	3.11	(2,3)	0.36	Iguales
(2) UNAM biología/1er ingreso vespertino/preprueba	%	30	30%	46%	(1,2)	1.35	Iguales
	1	30	47%	50%	(1,3)	2.01	Diferentes
	D	11	64%	48%	(2,3)	0.99	Iguales
	%	30	20%	40%	(1,2)	1.54	Iguales
	2	30	7%	25%	(1,3)	2.07	Diferentes
	D	11	55%	50%	(2,3)	3.05	Diferentes
	Calificación	30	4.37	3.30	(1,2)	0.35	Iguales
	CD	30	4.63	2.47	(1,3)	2.80	Diferentes
		11	6.73	1.95	(2,3)	2.83	Diferentes
	Calificación	30	1.57	1.32	(1,2)	0.40	Iguales
	CA	30	1.70	1.21	(1,3)	1.77	Iguales
		11	0.91	0.94	(2,3)	2.20	Diferentes
(3) UNAM biología/último semestre/preprueba	Calificación	30	1.07	0.97	(1,2)	1.90	Iguales
	CI	30	1.53	0.90	(1,3)	1.07	Iguales
		11	1.55	1.37	(2,3)	0.04	Iguales
	Calificación	30	2.97	2.72	(1,2)	1.75	Iguales
	FC	30	1.90	1.97	(1,3)	3.45	Diferentes
		11	0.82	1.25	(2,3)	2.07	Diferentes
	%	30	44%	50%	(1,2)	0.20	Iguales
	CD	30	46%	50%	(1,3)	1.41	Iguales
		11	67%	47%	(2,3)	1.25	Iguales
	%	30	16%	36%	(1,2)	0.14	Iguales
	CA	30	17%	38%	(1,3)	0.60	Iguales
		11	9%	29%	(2,3)	0.71	Iguales

TABLA XII P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) Secundaria/con antecedentes/postprueba	Calificación	18	7.86	1.73	(1,2)	0.50	Iguals
	Promedio	18	7.59	1.53	(1,3)	1.70	Iguals
	total	11	6.46	2.37	(2,3)	1.41	Iguals
	Calificación	18	5.94	2.90	(1,2)	1.43	Iguals
	Nuevos	18	7.28	2.70	(1,3)	0.08	Iguals
		11	5.82	4.31	(2,3)	1.01	Iguals
	Calificación	18	8.44	2.31	(1,2)	2.35	Diferentes
	Variación	18	6.33	3.03	(1,3)	3.14	Diferentes
		11	5.64	2.34	(2,3)	0.69	Iguals
	Calificación	18	7.89	3.01	(1,2)	0.43	Iguals
	Proporciones	18	7.44	3.26	(1,3)	2.38	Diferentes
		11	5.09	3.11	(2,3)	1.94	Iguals
(2) CCH 6*/con analogías/postprueba	%	18	89%	31%	(1,2)	0.00	Iguals
	1	18	89%	31%	(1,3)	1.55	Iguals
	D	11	64%	48%	(2,3)	1.55	Iguals
	%	18	72%	45%	(1,2)	0.81	Iguals
	2	18	83%	37%	(1,3)	0.96	Iguals
	D	11	55%	50%	(2,3)	1.66	Iguals
	Calificación	18	7.06	2.58	(1,2)	1.52	Iguals
	CD	18	5.94	1.76	(1,3)	0.39	Iguals
		11	6.73	1.95	(2,3)	1.10	Iguals
	Calificación	18	1.33	0.77	(1,2)	2.54	Diferentes
	CA	18	0.72	0.67	(1,3)	1.25	Iguals
		11	0.91	0.94	(2,3)	0.59	Iguals
(3) UNAM biología/último semestre/preprueba	Calificación	18	0.78	1.06	(1,2)	2.03	Diferentes
	CI	18	1.67	1.53	(1,3)	1.60	Iguals
		11	1.55	1.37	(2,3)	0.22	Iguals
	Calificación	18	0.83	1.29	(1,2)	2.12	Diferentes
	FC	18	1.67	1.08	(1,3)	0.02	Iguals
		11	0.82	1.25	(2,3)	1.87	Iguals
	%	18	71%	46%	(1,2)	0.71	Iguals
	CD	18	59%	49%	(1,3)	0.19	Iguals
		11	67%	47%	(2,3)	0.43	Iguals
	%	18	13%	34%	(1,2)	0.61	Iguals
	CA	18	7%	26%	(1,3)	0.36	Iguals
		11	9%	28%	(2,3)	0.18	Iguals

TABLA XIII P R U E B A S D E H I P Ó T E S I S (comparaciones)

ESCUELA Y NIVEL	CONCEPTO A COMPARAR	DATOS			PRUEBA	ESTADÍSTICO DE PRUEBA	CONCLUSIÓN
		Alumnos	Media	Desviación estándar			
(1) UNAM biología/1er ingreso matutino/preprueba	Calificación	30	4.35	2.52	(1,2)	0.81	Iguals
	Promedio	9	5.15	2.61	(1,3)	5.60	Diferentes
	total	8	9.35	0.86	(2,3)	4.56	Diferentes
	Calificación	30	5.03	3.38	(1,2)	0.91	Iguals
	Nuevos	9	6.33	3.84	(1,3)	2.67	Diferentes
		8	8.75	2.31	(2,3)	1.59	Iguals
	Calificación	30	4.23	2.97	(1,2)	0.08	Iguals
	Variación	9	4.33	3.24	(1,3)	1.97	Diferentes
		8	7.50	3.78	(2,3)	1.84	Iguals
	Calificación	30	5.30	2.69	(1,2)	0.85	Iguals
	Proporciones	9	6.33	3.32	(1,3)	3.28	Diferentes
		8	9.00	1.93	(2,3)	2.05	Diferentes
(2) UNAM biología/con evolución y artículos preprueba	%	30	30%	46%	(1,2)	1.38	Iguals
	1	9	56%	50%	(1,3)	4.58	Diferentes
	D	8	100%	0%	(2,3)	2.68	Diferentes
	%	30	20%	40%	(1,2)	0.14	Iguals
	2	9	22%	42%	(1,3)	6.00	Diferentes
	D	8	100%	0%	(2,3)	5.62	Diferentes
	Calificación	30	4.37	3.30	(1,2)	0.21	Iguals
	CD	9	4.11	3.18	(1,3)	4.16	Diferentes
		8	9.25	1.16	(2,3)	4.52	Diferentes
	Calificación	30	1.57	1.32	(1,2)	1.05	Iguals
	CA	9	2.11	1.36	(1,3)	2.08	Diferentes
		8	0.50	0.76	(2,3)	3.06	Diferentes
(3) UNAM biología/con evolución y clase preprueba	Calificación	30	1.07	0.97	(1,2)	0.78	Iguals
	CI	9	1.44	1.33	(1,3)	2.27	Diferentes
		8	0.25	0.46	(2,3)	2.52	Diferentes
	Calificación	30	2.97	2.72	(1,2)	0.77	Iguals
	FC	9	2.33	2.00	(1,3)	3.28	Diferentes
		8	0.00	0.00	(2,3)	3.50	Diferentes
	%	30	44%	50%	(1,2)	0.14	Iguals
	CD	9	41%	49%	(1,3)	2.57	Diferentes
		8	93%	26%	(2,3)	2.73	Diferentes
	%	30	16%	36%	(1,2)	0.36	Iguals
	CA	9	21%	41%	(1,3)	0.74	Iguals
		8	5%	22%	(2,3)	1.03	Iguals

## APÉNDICE IV

## APOYOS DIDÁCTICOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN

Experimento con adaptación

Abruscato, J. And Kenney, L. (1972). An experiment with color adaptation. *The American Biology Teacher*, 34(3), 161. Coloración de Protección, Selección Natural.

Simulación de la selección Natural

Allen, J.A., Anderson, K.P. & Tucker, G.M. (1987). More than meets the eye – a simulation of natural selection. *Journal of Biological Education*, 21(4), 301-305. Selección Natural.

Experimento con selección apostática

Allen, J.A. & Cooper, J.M. (1988). Experimenting with apostatic selection. *Journal of Biological Education*, 22(4), 255-262. Mantenimiento de la heterocigosis, depredadores.

Modelo de enseñanza de la radiación adaptativa

Blackbeer, L., Loring, A.P. & Wang, K.K. (1972). A teaching model of the principle of adaptive radiation. *American Biology Teacher*, 34(8), 471-74, 476. Radiación adaptativa y selección.

Sobrepoblación en levaduras

Busch, P.S. (1983). Yeast cells and overpopulation-teaching environmentally. *Science Scope*, 7(2), 11. Crecimiento exponencial.

Enfoque evolutivo en un laboratorio de anatomía comparativa

Coler, R.A. (1966). An evolutionary approach to a comparative anatomy laboratory. *The American Biology Teacher*, 28(4), 305-6. Homologías.

Puentes filtro para ilustrar un principio evolutivo

Collins, R.E. and Olson, R.W. (1974). Filter bridges illustrate an evolutionary principle. *The American Biology Teacher*, 36(8), 474-475, 511.

Estudio de la evolución con un modelo de simulación

Dawes, J.A. (1977). A simulation model approach to the study of evolution. *Journal of College Science Teaching*, 7(2), 102-104. Descendencia con modificación.

Estudio de la evolución con una simulación de trabajo de campo

Dubowsky, N. & Hartman, E.M. (1986). Simulated laboratory/field study of evolution. *Journal of College Science Teaching*, 15(5), 464-65. Variación, descendencia.

Dyman, D.J. (1974). A biochemical lab activity supports evolution theory. *The American Biology Teacher*, 36(6), 357-59. Homología bioquímica.

Estudios de caso para enseñar evolución

Fry, P. (1977). Gryphaea and Cepaea-Case studies for teaching evolution. *Journal of Biological Education*, 11(1), 12-20. Variación, adaptación y selección.

Uso de latas para explicar principios paleontológicos

Hageman, S.J. (1989). Use of alumenontos to introduce general paleontologic and biostratigraphic principles. *Journal of geological education*, 37(2), 110-113. Relaciones evolutivas.

Mejores enfoques para la enseñanza de la evolución

Keown, D. (1988). Teaching evolution: Improved approaches for unprepared students. *The American Biology Teacher* 50(7), 407-410. Variación, tiempo geológico, potencial biológico.

Tiempo geológico

McComas, W.F. (1990). How long is a long time? Constructing a scale model of the development of life on earth and events that have shaped earth history. *The American Biology Teacher*, 52(3), 161-167. Tiempo geológico.

Variación y adaptación en el zoológico

McComas, W.F. (1988). Variation, adaptation and evolution at the zoo. *The American Biology Teacher*, 50(6), 379-383. Variación, adaptación y convergencia.

Uso de drosophila para enseñar evolución

Rosenthal, D.B. (1979). Using species of Drosophila to teach evolution. *The American Biology Teacher*, 41(9), 552-55. Variación, competencia.

Simulación de la evolución

Stebbins, R.C. & Brockenbrough, A. (1975). Simulating evolution. *The American Biology Teacher*, 37(4), 206-211. Selección Natural.

Simulación de la Selección Natural

United States Department of Education (1986). Evolution by natural selection (Occasional paper No. 91). Washington, DC: Department of Education. (ERIC Document Reproduction Service DE 272 383). Selección Natural.

## APÉNDICE V

### ANALOGÍAS

Analogías utilizadas para reforzar la enseñanza de aspectos complejos de la teoría evolutiva.

- Las analogías 3, 6, 7, 8, 9 fueron tomadas de R. Dawkins 1993, *“El relojero ciego”*, RBA Editores.
- La analogía 1 está planteada en *Evolution* de Tim M. Berra 1990, Stanford University Press, págs. 118 y 119.
- La analogía 2 es de Irwin y Vilia Sherman 1975, *Biology*, Oxford Univ. Pres. págs. 18-20.
- La analogía 4 es de Ch. Darwin (*El origen de las especies*).
- La analogía 5 es de Francisco Ayala (Ruiz, R. Y F. Ayala, mecanoescrito).

### ANALOGÍA 1

Todo evoluciona en el sentido de la “descendencia con modificación”, ya sea un gobierno, una religión, un deporte, un automóvil o una especie.

El Corvette (General Motors) evolucionó a través de un proceso de selección que actuó sobre variaciones que resultaron de una serie de formas transicionales y que resultó en un modelo final muy diferente del inicial.

El revolucionario Corvette de fibra de vidrio evolucionó a partir de ancestros más mundanos que se fabricaron en 1953. Algunos aspectos característicos del Corvette incluyen el modelo 1962 en el que la base original de los ejes de 102 pulgadas se acortó a 92 pulgadas cuando se introdujo el modelo coupé Stingray; el modelo de 1968, ancestro previo a la morfología del Corvette actual, que emergió con un panel del techo renovable, y el modelo 1978 del aniversario de plata con estilo fastback. La versión actual conserva los refinamientos que se han ido acumulando desde 1953.

### ANALOGÍA 2

El tiempo geológico.

Los tiempos mayores a los millones de años son difíciles de comprender, por lo que usaremos una analogía.

Supongamos que la historia de la Tierra pudiera ser escrita en una serie de 10 volúmenes dado que la edad de nuestro Sistema Solar y la de la Tierra es de 5 mil millones de años; entonces, si cada volumen contiene 500 páginas, por lo tanto cada página representa un millón de años.



Si pudiéramos leer la historia de la Tierra en estos volúmenes, encontraríamos que los primeros seis (tres mil millones de años) representan la etapa sin vida.

En la historia de la Tierra, los organismos heterótrofos aparecerían a fines del volumen V y los autótrofos en el volumen VI (hace dos mil millones de años). De los volúmenes VII a X florece la mayor parte de la vida en la Tierra.

Para llevar esta analogía un paso adelante, supongamos que hay 500 palabras por página en cada libro; cada palabra representa 2 000 años. El hombre aparece en las últimas 50 palabras de la última página del volumen X; el nacimiento de Cristo es la última palabra de la última página y nosotros somos parte del punto final.

### ANALOGÍA 3

“Lo que sucede cuando se muta un gen..” y la herencia de los caracteres adquiridos:

“...Quizá, la mejor forma de verlo sea volver a la analogía de la receta. Estamos de acuerdo en que no se puede dividir un pastel en las migas que lo componen y decir: «Esta miga corresponde a la primera palabra de la receta, esta otra a la segunda», etcétera. En ese sentido, estaremos de acuerdo en que toda la receta equivale a todo el pastel. Pero supongamos que cambiamos una palabra en la receta; por ejemplo, que se suprime «levadura química» o que se cambia por «levadura de cerveza». Cocemos 100 pasteles de acuerdo con la nueva versión de la receta, y 100 pasteles de acuerdo con la versión antigua de la receta. Existe una diferencia esencial entre los dos grupos de 100 pasteles, y esta *diferencia* se debe a una palabra de diferencia entre las dos recetas. Aunque no haya una equivalencia punto por punto entre las palabras y las migas del pastel, hay una equivalencia punto por punto entre la *diferencia* de palabras y la *diferencia* de pasteles. La «levadura química» no corresponde a ninguna parte del pastel: su influencia afecta a la fermentación y, por tanto, a la forma final del pastel. Si se suprime «fermentación química», o se reemplaza por «harina», el pastel no se hinchará. Si se sustituye por «levadura de cerveza», el pastel se hinchará, pero tendrá un gusto más parecido al pan. Existirá una diferencia segura, identificable entre los pasteles cocidos de acuerdo a la versión original, y las versiones «mutadas» de la receta, aun cuando no haya ningún «trozo» determinado de ningún pastel que se corresponda con las palabras en cuestión. Esta es una buena analogía de lo que sucede cuando muta un gen.

Y una analogía incluso mejor, ya que los genes ejercen efectos cuantitativos y las mutaciones cambian la magnitud cuantitativa de esos efectos, sería un cambio de «350 grados» a «450 grados». Los pasteles cocidos de acuerdo con la versión mutada de la receta, a una temperatura más elevada, saldrán diferentes, no sólo en parte sino en toda su sustancia, de los pasteles cocidos de acuerdo con la versión a baja temperatura. Pero la analogía es aún así demasiado simple. Para estimular la «cocción» de un niño, no deberíamos imaginarnos un solo proceso en un solo horno, sino una maraña de cintas transportadoras, pasando diferentes partes del manjar a través de 10 millones de hornos miniaturizados, en serie y en paralelo, aportando cada horno una combinación diferente de sabores, a partir de 10 000 ingredientes básicos. El modelo de la analogía de la cocción, esto es, que los genes no son una copia sino una receta para un proceso, es mucho más persuasivo a partir de la versión compleja de la analogía que a partir de la simple.

Es el momento de aplicar esta lección a la cuestión de la herencia de las características adquiridas. Lo importante sobre la construcción de algo, a partir de una copia, en contraposición con una receta, es que el proceso es *reversible*. Si se tiene una casa, es fácil reconstruir una copia de sus planos. Sólo hay que medir todas las dimensiones de la casa y reducirlas a escala. Obviamente, si la casa fuese a «adquirir» algunas características —por ejemplo, que se tirase una pared interior para dejar una planta baja diáfana— la «copia inversa» registraría la alteración con fidelidad. Esto mismo harían los genes, si fuesen una descripción del cuerpo adulto. Si los genes fuesen una copia, sería fácil imaginar que cualquier característica que adquiriese un cuerpo durante su vida podría transcribirse en el código genético, y de aquí pasarla a la generación siguiente. El hijo del herrero podría heredar las consecuencias del ejercicio de su padre. Sin embargo, debido a que los genes no son una copia, sino una receta, no es posible. No podemos imaginarnos que las características adquiridas sean heredadas más de lo que podemos imaginarnos lo siguiente. Un pastel tiene un trozo cortado. La descripción de la alteración es enviada a la receta, y ésta cambia, de manera que el pastel siguiente, de acuerdo con la receta alterada, sale del horno con un trozo ya limpiamente cortado.

Los lamarckianos parecen ser aficionados a los callos, así que usemos este ejemplo. Nuestro hipotético cajero tiene unas manos suaves, cuidadas, excepto un duro callo en el dedo medio de su mano derecha, el que utiliza para escribir. Si las generaciones de sus descendientes escriben todos mucho, los lamarckianos esperarían que los genes que controlan el desarrollo de la piel en esta región se alterarían de forma que los niños nacerían con el dedo apropiado ya endurecido. Si los genes fuesen una copia esto sería fácil. Habría un gen «para» cada milímetro cuadrado (o una unidad pequeña apropiada) de piel. Toda la superficie de la piel de un cajero adulto sería «explorada», registrándose con cuidado la dureza de cada milímetro cuadrado y enviándose esta descripción de vuelta a los genes «para» este milímetro cuadrado determinado, en realidad, a los genes apropiados en sus espermatozoides.

Pero los genes no son una copia. No tiene sentido que haya un gen «para» cada milímetro cuadrado. Tampoco que el cuerpo del adulto pueda ser explorado y su descripción enviada de vuelta a los genes. No podrían «buscarse» las «coordenadas» de un callo en el registro genético y alterar los genes «apropiados». El desarrollo embrionario es un proceso en el que participan todos los genes funcionantes; un proceso que, si se sigue correctamente, dará como resultado un cuerpo adulto; pero es un proceso irreversible, por su propia naturaleza.

#### ANALOGÍA 4

En *El origen de las especies* Darwin expone la idea de la selección natural utilizando como analogía justificativa la selección artificial. Para Darwin este proceso ocupa un papel central en su argumentación por lo que prácticamente le dedica todo el capítulo I y partes del capítulo IV. Es así que en éste último, Darwin afirma por ejemplo lo siguiente:

“¿Puede, entonces pensarse improbable, viendo que la variación útil al hombre ha ocurrido indudablemente, que puedan ocurrir otras variaciones útiles en alguna forma a cada ser vivo en el curso de miles de generaciones? Si tal cosa ocurre, ¿podemos dudar que los individuos que tienen una ventaja, aunque ligera, sobre otros, puedan tener mejores posibilidades de sobrevivir y procrear a su tipo?”

## ANALOGÍA 5

El papel creativo de la selección natural no debe ser entendido en el sentido de la creación “absoluta” que la teología cristiana tradicional predica sobre el acto Divino por medio del cual Dios habrá procreado a las especies. La selección natural debe, más bien, compararse con un pintor que crea una pintura mezclando y distribuyendo pigmentos de diversas maneras, sobre un lienzo. El lienzo y los pigmentos no son creados por el artista, pero la pintura sí. Es concebible que una combinación al azar de pigmentos, pueda resultar en el conjunto ordenado que es el trabajo final del arte. Pero la probabilidad de que resulte en una obra como Las Meninas de Velázquez, de una combinación al azar de pigmentos, es infinitamente pequeña. De la misma manera, la combinación de las unidades genéticas que portan la información hereditaria responsable de la formación del ojo de los vertebrados no podría haber sido producida por un proceso azaroso como es la mutación. Aún cuando dejáramos que transcurrieran los tres mil millones de años durante los cuales la vida ha existido sobre la Tierra. La complicada anatomía del ojo, como el funcionamiento preciso del riñón, son el resultado de un proceso no azaroso- la selección natural.

## ANALOGÍA 6

“La evolución no es al azar...”

Supongamos que un mono tiene que escribir una frase corta: «Methinks is like a weasel» (“Creo que parece una comadreja”) y facilitemos su trabajo dándole una máquina de escribir con un teclado reducido, las 26 letras mayúsculas y la barra espaciadora. ¿Cuánto tardará en escribir esta frase corta?

La frase tiene 25 caracteres, de forma que supongamos que el mono hace una serie de «tentativas» discretas, consistentes cada una de ellas en 25 golpes de teclado. Si no logra construir la frase le permitiremos otra «tentativa» de 25 caracteres. No conozco ningún mono, pero afortunadamente mi hija de 11 años es un experimentado dispositivo para hacer cosas al azar, y demostró estar muy ansiosa por intervenir en el papel de mono mecanógrafo. Esto es lo que escribió en la computadora:

UMMKJK CDZZ F ZD DSDSKSM  
 S SS FMCV PU I DDRGLKDDXRRDO  
 RDTE QDWFDVIOY UDSKZWDCCVYT  
 H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D  
 RCDFYYIRM N DFSKD LD K WDWK  
 JJKAUZMZI UXDKIDISFUMDKUDXI

Ella tuvo que atender otras obligaciones importantes durante ese tiempo, de manera que me vi obligado a programar la computadora para simular un niño o un mono escribiendo a máquina de una forma aleatoria:

WDLDMNLT DDTJBKWIRZREZLMQCO P  
 Y YVMQKZPGJXWVHGLAWFVCHQYOPY  
 MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVJQF  
 FU OVAODVYKDDGXDEKYVMOGGS VT  
 HZQZDSFZIHIVPHZPETPWVOVPMZGF  
 GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

Y así, veces y veces. No es difícil calcular cuánto tendríamos que esperar para que la computadora (o el niño o el mono), escribiesen al azar *Methinks is like a weasel* (Creo que parece una comadreja). Hay que pensar en el número total de frases *posibles* con una longitud correcta que el niño, mono u computadora *podrían* escribir al azar. Hay 27 letras posibles (contando el «espacio» como una letra) en la primera posición. La posibilidad de que el mono acierte la primera letra, M es, por tanto, 1 en 27. La posibilidad de que acierte las dos primeras letras, ME es la posibilidad de tener la segunda letra, E correcta (1 en 27) *suponiendo* que tiene también la primera letra, M correcta; por tanto,  $1/27 \times 2/27$ , es igual a  $1/729$ . La posibilidad de acertar la primera palabra, METHINGS, es de  $1/27$  por cada una de las 8 letras; así  $(1/27) \times (1/27) \times (1/27) \dots$ , etc., 8 veces, o  $(1/27)$  elevado a la octava potencia. La posibilidad de tener correcta la frase entera de 29 caracteres es  $(1/27)$  elevado a 29, es decir  $(1/27)$  multiplicado por sí mismo 29 veces. Estas son probabilidades muy pequeñas, alrededor de 1 en 10 000 millones de millones de millones de millones de millones de millones. Para ponerlo más claro, la frase que buscamos tardaría mucho tiempo en salir, por no hablar de las obras completas de Shakespeare.

Suficiente en cuanto a la selección aleatoria de variaciones en una sola etapa. ¿Qué pasa con la selección acumulativa?; ¿qué tan eficaz resultaría? Mucho más eficaz, quizá más de lo que nos damos cuenta a primera vista, aunque será obvio cuando lo reflejemos con más detalle. Utilicemos de nuevo nuestra computadora-mono, pero con una diferencia esencial en su programa. Escogiendo de nuevo una secuencia de 28 letras al azar, como antes:

WDLMNLT DDTJBKWIRZREZLMQCO P

Ahora «se reproduce» a partir de esta frase fortuita. La duplica repetidamente, pero con la posibilidad de que se produzcan errores aleatorios, «mutaciones», en el proceso. La computadora examina las frases mutantes sin sentido, la «descendencia» de la frase original, y elige la que más se parece a la frase objetivo *Methinks is like a weasel*, *aunque el parecido sólo sea ligero*. En este caso, la frase ganadora de la siguiente «generación» es:

WDLTMNLT DDTJBSWIRZREZLMQCO P

¡No hay una mejora obvia! Pero el procedimiento se repite, de nuevo la «descendencia» mutante se «origina a partir de» esta frase, y se elige una nueva «ganadora». Esto sucede generación tras generación. Después de 10 generaciones, la frase elegida como «origen» de la próxima es:

MDLDMNLS ITJISWHRZREZ MECS P

Después de 20 generaciones es:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECSEL

En este momento, la fe nos hace creer que se puede apreciar una semejanza con la frase objetivo. Después de 30 generaciones, ya no hay duda:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

La generación número 40 nos conduce a una letra de diferencia con el objetivo:

METHINKS IT IS LIKE I WEASEL

Y el objetivo se alcanza, al fin, en la generación 43. Una segunda tanda de la computadora comienza con la frase:

Y YVMQKZPFJXWVHGLAWFVCHQXYOPY,

pasa a través de (de nuevo se escribe sólo una de cada diez generaciones):

Y YVMQKSPFTXWSHLIKEFV HQYSPY

YETHINKSPITXISHLIKEFA WQYSEY

METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY

METHINKS IT ISBLIKE A WEASES

METHINKS IT ISJLIKE A WEASEO

METHINKS IT IS LLIKE A WEASEP

y alcanza la frase objetivo en la generación número 64. En una tercera tanda, la computadora comienza con:

GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDDBGW ZCCF

y alcanza Methinks is like a weasel en 41 generaciones de «producción» selectiva.

El tiempo exacto que tarda la computadora en alcanzar el objetivo no importa. Si alguien lo quiere saber, la primera vez completó el ejercicio mientras yo estaba comiendo. Tardó una media hora. (Los entusiastas de las computadoras podrían pensar que esto es extremadamente lento. La razón es que el programa estaba escrito en BASIC, un tipo de habla infantil para una computadora. Cuando lo volví a escribir en Pascal, tardé 11 segundos). Las computadoras son un poco más rápidas en este tipo de cosas que los monos, pero la diferencia no es realmente significativa. Lo que importa es la diferencia entre el tiempo que tarda la selección *acumulativa*, y

el tiempo que la misma computadora, trabajando exactamente al mismo ritmo, tardaría en alcanzar la frase objetivo si lo forzáramos a utilizar el procedimiento de *selección en una sola etapa*: alrededor de un millón de millones de millones de millones de millones de años. Esto es más de un millón de millones de millones de veces el tiempo que ha existido universo hasta la fecha. Realmente sería más justo decir que comparado con el tiempo que tardaría un mono o una computadora en escribir la frase buscada, con un programa de combinaciones aleatorias, la edad total del universo hasta la fecha sería sólo una cantidad ridículamente pequeña, tan pequeña que estaría completamente dentro del margen de error para este tipo de cálculo de papel y lápiz. Por el contrario, el tiempo que tardaría una computadora en realizar la misma tarea, trabajando con combinaciones aleatorias, pero con las limitaciones de la selección acumulativa, es de un orden que los humanos pueden comprender ordinariamente, entre 11 segundos y el tiempo que se tarda en comer.

Existe, entonces, una gran diferencia entre la selección acumulativa (en la que cada mejora, aunque sea mínima, se utiliza como base para una etapa posterior), y la selección en una sola etapa (en la que cada «intento» es algo nuevo). Si el progreso evolutivo hubiese tenido que confiar en la selección en una sola etapa no habría llegado a nada. Sin embargo, si hubiese habido alguna forma por la que las fuerzas ciegas de la naturaleza hubiesen podido erigir las condiciones necesarias para la selección *acumulativa*, las consecuencias podrían haber resultado extrañas y maravillosas. De hecho, es lo que sucedió en este planeta, y nosotros mismos formamos parte de las más recientes, si no las más extrañas y maravillosas, de estas consecuencias.

Es increíble que haya gente que utilice cálculos como estos como si constituyesen argumentos *contra* la teoría de Darwin. La gente que hace esto, con frecuencia expertos en su campo, la astronomía o cualquier otra, parecen creen sinceramente que el darwinismo explica la organización viva sólo en términos de azar: «selección en una sola etapa». Esta creencia, de que la evolución «darwiniana» está hecha «al azar», no es sólo falsa. Es exactamente lo opuesto a la verdad. El azar en un pequeño ingrediente de la receta darwiniana pero el ingrediente más importante es la selección acumulativa, cuya quintaesencia es, precisamente, que *no* está hecha al azar.

## ANALOGÍA 7

“La selección acumulativa”.

Hemos visto que las cosas vivas son demasiado improbables y están demasiado bellamente «diseñadas» como para haber comenzado a existir por azar. ¿Cómo, pues, comenzaron a existir? La respuesta, la de Darwin, es mediante transformaciones graduales, paso a paso, a partir de unos orígenes elementales, de unas entidades primordiales lo suficientemente simples como para haber comenzado a existir espontáneamente. Cada cambio a lo largo de este proceso gradual evolutivo fue lo suficientemente simple, *comparado con su predecesor*, como para haberse producido por azar. Pero la secuencia completa de paso acumulados constituye cualquier cosa menos un proceso aleatorio, si se considera la complejidad del producto final con relación al punto de partida. El proceso acumulativo está guiado por el proceso de una supervivencia no aleatoria. La intención de esta analogía es mostrar el poder de la *selección acumulativa* como un proceso que, fundamentalmente, no sigue las leyes del azar.

Si uno pasea arriba y abajo por una playa pedregosa, observará que las piedras no están ordenadas al azar. Las piedras más pequeñas tienden a encontrarse en zonas segregadas que discurren a lo largo de la playa, mientras que las más grandes están en zonas o franjas diferentes. Las piedras han sido clasificadas, ordenadas, seleccionadas. Una tribu que viviese cerca de la costa podría maravillarse ante esta prueba de clasificación u ordenamiento del mundo, y podría desarrollar un mito para explicarlo, atribuyéndolo, quizás, a un Gran espíritu celestial con una mente ordenada y un gran sentido del orden. Podríamos sonreír con indiferencia ante esta idea supersticiosa, y explicar que, en realidad, el ordenamiento se debe a las fuerzas ciegas de la física, en este caso, la acción de las olas. Las olas no tienen ninguna finalidad, ni intención, ni una mente. Simplemente, empujan las piedras con energía, y según éstas sean grandes o pequeñas responderán de manera diferente a este tratamiento, de manera que terminen a diferentes niveles de la playa. A partir de un gran desorden se origina un poco de orden, sin que lo planifique ninguna mente.

Las olas y las piedras juntas constituyen un ejemplo sencillo de un sistema que genera automáticamente un orden. El mundo está lleno de estos sistemas. El ejemplo más simple que se me ocurre es el de un agujero. Sólo los objetos más pequeños que él pueden pasar a través de él. Esto significa que si empezamos con un conjunto de objetos ordenados al azar situados encima del agujero, y los agitamos y hacemos chocar entre sí, al cabo de un tiempo los objetos situados por encima y por debajo del agujero estarán clasificados de una forma no aleatoria. El espacio situado por debajo del agujero mostrará una tendencia a contener los objetos más pequeños que el agujero, y, el espacio situado por encima, los objetos más grandes. Por supuesto, la humanidad ha usado desde hace tiempo este principio tan simple de generar orden, mediante un dispositivo muy útil conocido como criba.

El sistema solar es una ordenación estable de planetas, cometas y restos que giran en órbitas alrededor del Sol, y es presumiblemente uno de los muchos sistemas orbitales en el universo. Cuando más cerca se encuentra un satélite del Sol, más rápido tiene que viajar para contrarrestar la fuerza de la gravedad del Sol y permanecer en una órbita estable. En una órbita determinada, sólo hay una velocidad a la que el satélite puede viajar y permanecer en ella. Si estuviese viajando a cualquier otra velocidad, se escaparía hacia el espacio exterior, se estrellaría contra el Sol, o se movería hacia otra órbita. Si contemplamos los planetas de nuestro sistema solar, he aquí que cada uno viaja exactamente a la velocidad correcta para mantenerse en una órbita estable alrededor del Sol. ¿Milagro divino o designio de la providencia? No, simplemente otra «criba» natural. Todos los planetas que vemos describiendo órbitas alrededor del Sol tienen que viajar a la velocidad correcta para mantenerse en sus órbitas, o no los veríamos porque no estarían allí. Esto no constituye una prueba de la existencia de un diseño consciente. Es simplemente un tipo más de clasificación.

#### ANALOGÍA 8

“Gradualismo y saltacionismo”.

Los hijos de Israel, de acuerdo con la descripción del Éxodo, tardaron cuarenta años en atravesar el desierto del Sinaí hasta llegar a la tierra prometida. Una distancia de unos trescientos veinte kilómetros. Su velocidad media se puede calcular, por tanto, en unos veinte metros por día, o metro por hora; digamos, unos tres metros por hora, si contamos las paradas

para pernoctar. Sin embargo, si estudiamos estos cálculos, veremos que estamos tratando con una velocidad media absurdamente lenta, mucho más lenta que la marcha del caracol (la increíble velocidad de 50 metros por hora es el récord mundial de los caracoles, de acuerdo con el *Guinness Book of Records*). Por supuesto, nadie cree realmente que se mantuviese esta velocidad media de una manera continua y uniforme. Los israelitas viajaron a tontas y a locas, acampando quizá largos períodos de tiempo en un sitio antes de continuar. Es probable que muchos de ellos no tuvieran una idea muy clara de que estaban *viajando* en una dirección constante, y vagaran en círculos de oasis a oasis, como suelen hacer los pastores nómadas del desierto. Nadie, repito, cree realmente que se mantuviese una velocidad media de manera continua y uniforme.

Pero supongamos que dos elocuentes historiadores jóvenes irrumpen en la escena. Hasta ahora, nos dicen, la historia bíblica ha estado dominada por la escuela de pensamiento «gradualista». Los historiadores «gradualistas», nos cuentan, creen de verdad que los israelitas viajaron a una velocidad de veinte metros por día; recogían sus tiendas por la mañana, caminaban a paso de tortuga una distancia de veinte metros en dirección este-nordeste, y luego montaban de nuevo el campamento. La única alternativa al «gradualismo», nos dicen, es la nueva y dinámica escuela de historia «saltacionista». De acuerdo con los jóvenes interrupcionistas radicales, los israelitas permanecieron la mayor parte de su tiempo «estático», sin moverse, acampados, a menudo, años en un sitio. Luego se moverían, con bastante rapidez, a un nuevo campamento, donde permanecerían de nuevo varios años. Su progreso hacia la tierra prometida, en lugar de ser gradual y continuo, fue desigual: largos períodos estáticos interrumpidos por breves períodos de movimientos rápidos. Por otra parte, sus movimientos no eran siempre en dirección hacia la tierra prometida, sino en cualquier dirección escogida al azar. Sólo cuando miramos retrospectivamente el patrón de la *macromigración* a gran escala, podemos ver una tendencia en dirección hacia la tierra prometida.

Tal es la elocuencia de los historiadores bíblicos saltacionistas, que causó sensación en los medios de difusión. Sus retratos adornan las portadas de las revistas de gran tirada. Ningún documental de televisión sobre historia bíblica está completo sin una entrevista al menos a uno de los saltacionistas más destacados. La gente que no sabe nada más de erudición bíblica recuerda sólo un hecho: que en los días tenebrosos antes de que los saltacionistas irrumpieran en escena, todos los demás estaban equivocados.

Mi relato sobre los historiadores bíblicos interrupcionistas no es, por supuesto, cierto. Es una parábola sobre una supuesta controversia análoga entre estudiosos de la evolución biológica. En algunos aspectos, es una parábola injusta, pero no tanto; es lo suficientemente cierta como para justificar el contarla al principio de este capítulo. Existe una escuela de pensamiento muy anunciada entre los biólogos evolucionistas, cuyos proponentes se hacen llamar interrupcionistas, y que inventaron el término «gradualista» para sus predecesores más influyentes. Han disfrutado de una enorme publicidad, entre un público que no sabe casi nada sobre evolución. Y se debe, en gran medida, a que su posición ha sido presentada por gradualistas segundones, más que por ellos mismos, como radicalmente distinta de las posiciones de los evolucionistas anteriores, especialmente Charles Darwin. Hasta aquí, mi analogía bíblica es justa.

Hay un aspecto en el que esta analogía no es justa: en la narración de los historiadores bíblicos, «los gradualistas» eran obviamente hombres de paja inexistentes, fabricados por los interrupcionistas. En el caso de los evolucionistas «gradualistas», no es tan *obvio* el hecho de que



sean hombres de paja inexistentes. Es necesario demostrarlo. Es posible interpretar las palabras de Darwin y las de otros muchos evolucionistas como gradualistas, en cierto sentido, pero entonces adquiere importancia comprender que la palabra gradualista puede interpretarse de distintas maneras, para significar cosas diferentes. Por supuesto, puedo desarrollar una interpretación de la palabra «gradualista», de acuerdo con la cual casi todo el mundo resultaría serlo. En el caso evolucionista, a diferencia de la parábola de los israelitas, hay una genuina controversia oculta, pero sobre pequeños detalles que, de ninguna manera, son lo bastante importantes como para justificar la hiperactividad de los medios de comunicación.

Entre los evolucionistas, los «interrupcionistas» fueron reclutados, al principio, entre las filas de la paleontología. La paleontología es el estudio de los fósiles. Es una rama muy importante de la biología, porque los antepasados evolucionarios murieron todos hace mucho tiempo y los fósiles nos facilitan la única evidencia directa de los animales y plantas del pasado lejano. Si queremos saber a qué se parecían nuestros antepasados evolucionarios, los fósiles son nuestra principal esperanza. Tan pronto como la gente se dio cuenta de lo que en realidad eran los fósiles —las escuelas de pensamiento antiguas habían mantenido que eran creaciones del demonio, o huesos de pobres pecadores ahogados en el diluvio— se aclaró que cualquier teoría sobre la evolución debería tener ciertas expectativas sobre la historia de los fósiles. Pero ha habido algunas discusiones sobre cuáles serían exactamente dichas expectativas, y de esto es, en parte, de lo que trata el argumento interrupcionista.

Después de todo, tenemos suerte de que haya fósiles. Es una suerte para la geología, que los huesos, conchas y otras partes duras de los animales dejen una huella, antes de descomponerse, que actuará más tarde como un molde, que modelará la dura roca formando un registro permanente del animal. No sabemos qué proporción de animales se fosilizan después de su muerte —personalmente, consideraría un honor ser fosilizado— pero, por supuesto, es muy pequeña. Sin embargo, no importa lo pequeña que sea, hay ciertas cosas sobre la historia de los fósiles que cualquier evolucionista desearía que fuesen ciertas. Debería sorprendernos, por ejemplo, encontrar fósiles humanos anteriores a cuando se supone que evolucionaron los mamíferos. Si se descubriese un solo cráneo de mamífero, completamente verificado, entre rocas de hace 500 millones de años, todas nuestras teorías modernas sobre la evolución quedarían destruidas. Incidentalmente, ésta es una respuesta a las patrañas que han hecho correr los creacionistas.

## ANALOGÍA 9

“Las diferencias entre un darwinista de la vida real y su caricatura...”

La variación y la selección trabajan juntas para producir la evolución. Los darwinistas dicen que la variación es aleatoria, en el sentido de que no está dirigida hacia una mejora, y que la tendencia hacia una mejora en la evolución viene a través de la selección. Podemos imaginarnos un tipo de espectro continuo de doctrinas evolutivas, con el darwinismo en un extremo y el mutacionismo en el otro. Un mutacionista extremo cree que la selección no juega ningún papel en la evolución. El sentido en que transcurre la evolución viene determinado por el sentido de las mutaciones ofrecidas. Por ejemplo, supongamos que escogemos el aumento de tamaño del cerebro humano que ha tenido lugar durante los últimos millones de años de nuestra evolución. Los darwinistas dicen que la variación ofrecida para que se produjese una selección de mutaciones

incluiría unos individuos con cerebros más pequeños y otros con cerebros más grandes; la selección habría favorecido a estos últimos. Los mutacionistas dicen que hubo una tendencia a favor de los cerebros grandes dentro de la variación ofrecida para que se produjesen mutaciones; no hubo selección (o necesidad de selección) después de ofrecida la mutación; los cerebros aumentaron de tamaño porque los cambios mutacionales mostraban una tendencia en dirección hacia los cerebros más grandes. Para resumir este punto: en la evolución existía una tendencia a favor de los cerebros más grandes; esta tendencia procedería sólo de la selección (el punto de vista darwinista) o sólo de las mutaciones (el punto de vista mutacionista); podemos imaginarnos un espectro continuo entre estos dos puntos de vista, casi un tipo de intercambio entre dos posibles orígenes de tendencias evolutivas. Un punto de vista intermedio sería que hay una *cierta* tendencia en las mutaciones hacia el aumento de tamaño del cerebro, y que la selección aumenta esta tendencia en la población superviviente.

El elemento caricaturesco viene introducido en el retrato de lo que quieren significar los darwinistas cuando declaran que no existe ninguna tendencia en las variaciones mutacionales ofrecidas en la selección. Para mí, ser un darwinista de la vida real, significa sólo que las mutaciones no muestran una tendencia sistemática en dirección hacia la introducción de mejoras en la adaptación. Pero para la caricatura del darwinista fuera de la realidad de la vida significa que todos esos cambios posibles tienen «las mismas probabilidades». Dejando aparte la imposibilidad de tales creencias, ya descritas, la caricatura de un darwinista se piensa que consiste en creer que el cuerpo es una masa de arcilla infinitamente maleable, lista para ser modelada por la poderosa selección, en cualquier forma que ésta pudiese favorecer. Es importante comprender la diferencia entre el darwinista de la vida real y su caricatura. Lo haremos en términos de un ejemplo concreto, las diferencias en técnicas de vuelo entre los murciélagos y los ángeles.

Los ángeles siempre han sido retratados con alas que brotan de sus espaldas, dejando sus brazos libres de las plumas. Los murciélagos, por otra parte, junto con los pájaros y los pterodáctilos, no tienen brazos independientes. Sus brazos ancestrales se han incorporado a las alas, y no pueden utilizarlos, o apenas de una manera muy torpe, con otros propósitos, como coger comida. Oiremos ahora una conversación entre un darwinista de la vida real y una caricatura extrema de un darwinista.

*Vida real:* No comprendo cómo no evolucionaron las alas en los murciélagos como en los ángeles. Pienso que podrían utilizar un par de patas anteriores libres. Los ratones utilizan sus patas anteriores para coger comida y mordisquearla, mientras que los murciélagos parecen muy torpes en el suelo sin estas patas. Supongo que una respuesta podría ser que las mutaciones nunca facilitaron las variaciones necesarias. Nunca hubo un murciélago ancestral mutante que tuviese unas alas que brotasen del dentro de su lomo.

*Caricatura:* Vaya disparate. La selección lo es todo. Si los murciélagos no tienen alas como los ángeles, significa que la selección no favoreció el desarrollo de esta clase de alas. Ciertamente hubo murciélagos mutantes con alas que brotaban del centro de su lomo, pero la selección no favoreció su desarrollo.

*Vida real:* Bien, estoy bastante de acuerdo en que la selección no hubiese favorecido su desarrollo si *hubiesen* brotado. Porque hubiesen incrementado el peso del animal, y el peso extra es un lujo que ningún avión puede permitirse. Pero ¿no piensa que las mutaciones suministrarían siempre la variación necesaria a *cualquier cosa* que la selección pudiese favorecer, en principio?

*Caricatura:* Ciertamente que sí. La selección lo es todo. Las mutaciones son aleatorias.

*Vida real:* Bien, las mutaciones son aleatorias, pero ello sólo significa que no pueden ver el futuro y planificar lo que es bueno para el animal. No significa que sea posible *cualquier cosa*. ¿Por qué piensa que ningún animal exhala fuego por la nariz como un dragón, por ejemplo? ¿No sería útil para cazar y cocinar las presas?

*Caricatura:* Es fácil. La selección lo es todo. Los animales no exhalan fuego por la nariz porque no les compensaría hacerlo. Los mutantes que exhalan fuego fueron eliminados por la selección natural, quizá porque producir fuego sería demasiado costoso en energía.

*Vida real:* No creo que hayan existido, nunca, mutantes que exhalaran fuego. De haberlos habido, presumiblemente ¡habrían corrido el riesgo de quemarse ellos mismos!

*Caricatura:* Vaya disparate. Si éste fuese el único problema, la selección habría favorecido el desarrollo de fosas nasales recubiertas de asbesto.

*Vida real:* No creo que ninguna mutación produjese nunca fosas nasales recubiertas de asbesto. No creo que los animales mutantes pudiesen secretar asbesto, por la misma razón que las vacas mutantes no podrían saltar a la Luna.

*Caricatura:* Cualquier vaca mutante que saltara a la Luna sería eliminada rápidamente por la selección natural. Tú sabes que no hay oxígeno allá arriba.

*Vida real:* Me sorprende que no postules la presencia de vacas mutantes con trajes espaciales y máscaras de oxígeno controladas genéticamente.

*Caricatura:* ¡Buena idea! Supongo que la explicación real sería que no es rentable para las vacas saltar a la Luna. No debemos olvidar el costo energético de alcanzar la velocidad de despegue.

*Vida real:* Eso es absurdo.

*Caricatura:* Tú no eres realmente un verdadero darwinista. ¿Qué eres tú, algún tipo de criptomutacionista desviacionista?

*Vida real:* Si así lo crees, deberías conocer a un mutacionista de verdad.

*Mutacionista:* ¿Es esto una discusión entre grupos de darwinistas, o puede entrar cualquiera; El problema con vosotros dos es que dais demasiada importancia a la evolución. Todo lo que la selección puede hacer es eliminar las grandes deformidades, los monstruos. Realmente, no puede producir una evolución constructiva. Volved a la evolución de las alas de los murciélagos. Lo que sucedió en realidad es que en una antigua población de animales que vivían

en el suelo comenzaron a aparecer mutaciones con dedos elongados y membranas de pie entre ellos. Según fueron transcurriendo las generaciones, estas mutaciones se fueron haciendo más frecuentes hasta que, eventualmente, toda la población tenía alas. No tuvo nada que ver con la selección. Lo único que hubo fue una tendencia intrínseca en la constitución ancestral de los murciélagos para desarrollar alas.

*Vida real y Caricatura* (al unísono): ¡Misticismo indecente!. Vuelve al siglo pasado, donde está tu sitio.

Espero no parecer vanidoso si asumo que las simpatías del lector no están ni con el Mutacionista ni con la Caricatura de un darwinista. Asumo que el lector está de acuerdo con el darwinista de la Vida real como, por supuesto, lo estoy yo. La Caricatura no existe, en realidad. Lamentablemente, algunas personas *piensan* que existe, y piensan que, como están en desacuerdo con él, están en desacuerdo con el darwinismo. Hay una escuela de biólogos que tienen la costumbre de decir algo como lo que sigue. El problema con el darwinismo es que ignora los límites impuestos por la embriología. Los darwinistas (y es aquí donde entra en juego la caricatura) piensan que si la selección favoreciera algún cambio en la evolución resultaría que la variación mutacional necesaria quedaría disponible. Un cambio mutacional tiene la misma probabilidad en cualquier sentido: la selección facilita la única influencia.

Pero cualquier darwinista de la vida real reconocería que, aunque cualquier gen de cualquier cromosoma pueda mutar en cualquier momento, las consecuencias de la mutación sobre los *cuerpos* están severamente limitadas por los procesos embriológicos. No se puede postular una mutación «que haga» brotar alas en mitad de la espalda. Las alas, o cualquier otra cosa, pueden evolucionar sólo si el proceso de desarrollo les permite hacerlo. Nada «brota» de una forma mágica. Tiene que hacerse a través del proceso de desarrollo embrionario. Sólo una minoría de las cosas que puede concebirse que evolucionen están permitidas realmente por el *status quo* de los procesos de desarrollo existentes. Debido a la forma en que se desarrollan los brazos, es posible que las mutaciones actúen aumentando la longitud de los dedos y produciendo el crecimiento de pliegues de piel entre ellos. Pero puede que no haya nada en la embriología de la espalda que conduzca a que «broten» alas de ángel. Los genes pueden mutarse hasta que produzcan un color azul en la cara, pero a ningún mamífero le brotarán alas como las de un ángel, a menos que sus procesos embriológicos sean susceptibles a esta clase de cambio.