

01963



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

2
29

FACULTAD DE PSICOLOGÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

"FENOMENOLOGÍA DEL CONCEPTO DE
SELECCIÓN NATURAL EN ESTUDIANTES
UNIVERSITARIOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRIA EN PSICOLOGÍA EDUCATIVA

P R E S E N T A:

PRÓCORO MILLÁN BENITEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. JUAN JOSÉ SÁNCHEZ SOSA

COMITE DE TESIS:

DR. CARLOS SANTOYO VELASCO

DR. MARIO RUEDA BELTRAN

DRA. SUSANA ORTEGA PIERREZ

MTRA. ROSA DEL CARMEN FLORES MACIAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MÉXICO, D.F.

1996



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Dedicatoria

*a mi hija Valeria,
como testimonio de mi profundo
amor, admiración y respeto.*

Agradecimientos:

al Dr. Juan José Sánchez Sosa, por su sabiduría y generosidad sin límite,

al Dr. Mario Rueda Beltran, por su inmensa sensibilidad, paciencia y (re)conocimiento del otro,

al Dr. Carlos Santoyo Velásco, por su profunda honestidad intelectual y amplitud de criterio,

al M en C. Roberto Carmona Pifia, biólogo investigador de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, sin cuya experta participación no habría sido posible este trabajo.

a Estela del Valle, por su amorosa compañía y razonada insistencia en la realización de este trabajo.

Finalmente, aunque no al último, a quienes generosamente me han permitido compartir su mundo, distinguiéndome con su afecto, comprensión, confianza y amistad:

María Luisa Morales, donde quiera que se encuentre,

Arturo & Gabriela, Roberto (raba-o-no), Joaquín H, Francisco & Gracia, Joaquín F, Karin, Aurora (borín), Alfredo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
EL CONTEXTO DE COMPRENSIÓN EN EL AULA	8
FUNDAMENTOS DEL CAMBIO CONCEPTUAL	14
LA ENSEÑANZA ENFOCADA HACIA EL CAMBIO CONCEPTUAL.....	19
<i>CONSECUENCIAS EDUCATIVAS DEL USO DEL M C C.....</i>	<i>21</i>
FENOMENOGRAFÍA DE LA COMPRENSIÓN DISCIPLINARIA.....	39
FENOMENOGRAFIA DEL CONCEPTO DE SELECCIÓN NATURAL.....	43
METODOLOGÍA.....	44
CALIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS	45
ANÁLISIS DE DATOS.....	51
DISCUSIÓN.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	74

RESUMEN

Con el propósito de indagar los tipos de comprensión del concepto de selección natural entre estudiantes universitarios, 108 alumnos (60.3 % del total matriculado) que se encontraban cursando los semestres 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, y 9 de la licenciatura en Biología Marina en la Universidad Autónoma de Baja California Sur, se diseñó un problema evolutivo *¿Cómo pudo surgir un delfín a partir de un antepasado mamífero terrestre?* El problema se les presentó a todos los alumnos simultáneamente, en su respectivo grupo a la misma hora, previa aceptación de sus profesores. Se informó a los estudiantes que era voluntaria su participación y que los resultados no contaban para su calificación del curso en el que se encontraban. Se desarrolló un sistema de calificación de las respuestas de los alumnos que incluyó:

(1) Tipo de enfoque (Poblacional o Tipológico); (2) Tipo de cambio (Abierto o Cerrado al ambiente); (3) Tipo de selección (Natural, No-Funcional y No-Selección). El análisis de los datos mostró que sólo un 35 % de los estudiantes mostraron una comprensión correcta del concepto darwiniano de Selección Natural; un 51 % de alumnos mostraron una comprensión ingenua, no darwiniana, y errónea del mismo concepto y el 14 % restante respondió con versiones mezcladas de conceptos darwinianos y del sentido común. Los datos obtenidos son consistentes con otras investigaciones similares sobre comprensión y malentendidos de conceptos científicos. Los datos tienen importantes implicaciones para la enseñanza y aprendizaje de conceptos y teorías científicas.

INTRODUCCIÓN

La educación formal es una de las empresas humanas que mayor consenso universal ha alcanzado con el paso del tiempo, debido, entre muchas otras razones, a su contribución a la igualdad, libertad, progreso, democracia y justicia social. Se podría afirmar que en nuestros tiempos es casi imposible imaginar una sociedad sin educación formal. No sólo es un derecho universal del hombre, sino una práctica social que ha permitido la producción, distribución y apropiación social del conocimiento humano, lo cual ha garantizado la subsistencia de las sociedades.

Dada la importancia adquirida por la escuela, en las sociedades modernas, en la formación y preparación de las nuevas generaciones para su incorporación a un mundo en constante evolución, progresivamente se ha visto sometida al escrutinio de la opinión pública. Básicamente, este escrutinio se ha venido enfocando hacia los resultados o logros educativos alcanzados, en función de la inversión social y la significancia y relevancia de aquellos. Es decir, qué tan adecuadamente preparan las instituciones educativas a sus alumnos, para que al concluir sus estudios enfrenten exitosamente los retos implicados en su incorporación al mundo productivo, en la actividad de que hayan elegido. La cuestión se puede resumir de la siguiente manera ¿qué tipos de aprendizaje promueven las escuelas?

Si tomamos en cuenta que uno de los propósitos fundamentales de la educación formal es cambiar, a través de la enseñanza, las concepciones ingenuas o del sentido común que los alumnos tienen del mundo que les rodea, por las explicaciones emanadas del conocimiento científico, entonces podríamos preguntarnos ¿en qué grado logran las escuelas este cambio conceptual?

Gardner (1991), documenta ampliamente, la presencia difundida entre las escuelas, de todos los niveles educativos, de los Estados Unidos, de "malentendidos", "concepciones distorsionadas" o "errores" en la comprensión de conceptos científicos disciplinarios, en casi todas las asignaturas curriculares: física, química, biología, matemáticas, ciencias sociales, lenguaje y literatura. El balance que este investigador hace, en relación a los resultados o logros de aprendizaje, es francamente negativo.

El criterio bajo el que realizó su evaluación del sistema educativo norteamericano, es el grado en el que los estudiantes alcanzan lo que él llama una "comprensión genuina" o disciplinar de los conocimientos impartidos por las escuelas.

El concepto de "comprensión" genuina o disciplinar es clave para la valoración de los resultados de aprendizaje producidos por la escuela y se refiere al grado en el que los estudiantes son capaces de utilizar, apropiadamente, los conceptos, principios, leyes o teorías disciplinarios a la solución de problemas, en diversos contextos y cuando éstos son planteados en términos diferentes a las formas canónicas de las aulas.

Es pertinente destacar que las fallas en comprensión, malentendidos, o distorsiones de las que estamos hablando ocurren después de que los estudiantes han cursado, exitosamente, las asignaturas disciplinarias. Para ejemplificar este fenómeno Gardner afirma:

"Investigadores de la John Hopkins, del MIT y de otras universidades que gozan de buena consideración han podido demostrar el hecho de que los estudiantes que reciben las calificaciones de honor en los cursos superiores de física son frecuentemente incapaces de resolver problemas y las preguntas básicas que se plantean de un modo un poco diferente de aquel en el que han sido formados y examinados. En un ejemplo clásico, se pidió a los estudiantes de grados superiores que indicaran las fuerzas que actúan sobre una moneda que ha sido lanzada al aire y ha alcanzado el punto medio de su trayectoria ascendente. La respuesta correcta es que una vez que la moneda está en el aire, sólo está presente la fuerza gravitatoria que la atrae hacia la tierra. Sin embargo, el setenta por ciento de los estudiantes de grado superior que habían terminado el curso de física mecánica dieron la misma respuesta ingenua que los estudiantes no formados: mencionaron dos fuerzas, una hacia abajo, que representaba la gravedad, y otra ascendente resultante de 'la fuerza original ascendente de la mano'. Esta respuesta refleja la opinión intuitiva o de sentido común pero errónea..." (p.19 de la edición española).

Fisher & Lipson (1986) se preguntan, ¿Por qué los estudiantes "fallan" en entender, a pesar de que "disponen" del conocimiento correcto, las explicaciones científicas de los fenómenos?

Estos investigadores piensan que los "errores" se deben a que los estudiantes organizan su conocimiento en una forma que les "crea sentido" a sí mismos, aun cuando entren en contradicción con las concepciones científicas, que previamente se les había "enseñado".

Para los citados investigadores, el entendimiento o comprensión de conceptos científicos depende del grado en el que los modelos mentales de los estudiantes "predigan" y "expliquen" satisfactoriamente los eventos del mundo "real" externo; de modo que un modelo defectuoso es una concepción ingenua del mundo, que se sustenta en antropomorfismos y sentido común, lo que frecuentemente los hace muy resistentes al cambio.

La persistencia y elevada frecuencia de ocurrencia de los malentendidos, distorsiones, errores y algoritmos "parásitos" (Doyle, 1983) dentro de la enseñanza de conocimientos disciplinarios, ha merecido una creciente atención de parte de los investigadores educativos, especialmente de los psicólogos de orientación cognitiva. La importancia del estudio de las fallas en la comprensión de los conocimientos disciplinarios, radica en la posibilidad de descubrir si existe alguna clase de "lógica" de los malentendidos, cuyo conocimiento permita diseñar estrategias instruccionales eficientes para el logro del aprendizaje disciplinario.

De acuerdo con Marton (1990), el aprendizaje disciplinario se experimenta y conceptualiza dentro de un número limitado de formas distintivamente diferentes, aun cuando correspondan a una situación de aprendizaje que, desde un punto de vista "objetivo", es idéntica para todos los estudiantes (en el sentido de que, por ejemplo, se encuentran estudiando la misma materia con los mismos textos).

Cuando la gente se confronta con un fenómeno, parece que hay un conjunto finito de formas cualitativamente diferentes con las que se le experimenta, conceptualiza, aprende o comprende. Es, exactamente, al estudio de estas concepciones (experiencias y entendimientos) cualitativamente diferentes de los fenómenos, a lo que denominamos "*fenomenografía*", término acuñado por Marton (1981) para designar a su enfoque metodológico, en el cual se basa el presente estudio.

Desde esta perspectiva, la fenomenografía, podemos estudiar diferentes concepciones del aprendizaje, del mismo modo que cualquier otro fenómeno. Al describir las diferentes formas en las que se conceptualiza el aprendizaje, estaríamos contribuyendo a lo que podríamos denominar "fenomenografía del aprendizaje". Esta expresión, puede asumir dos significados completamente diferentes.

El primer significado, corresponde al estudio de las diferentes concepciones de *cómo* aprendemos, que concierne a las concepciones del *acto* de aprendizaje. El segundo, se corresponde con la identificación del número de concepciones, cualitativamente diferentes, de un cierto fenómeno.

Parece razonable esperar que estas concepciones de un cierto fenómeno se puedan ordenar de las menos a las más avanzadas (en relación a algún criterio establecido). También parece razonable etiquetar la transición de un individuo que va de una menos a una más avanzada concepción de cierto fenómeno.

El estudio del aprendizaje como un cambio entre concepciones cualitativamente diferentes de un mismo fenómeno, es el segundo significado de la expresión "fenomenografía del aprendizaje". Esta segunda definición de la expresión, corresponde al estudio de las diferentes concepciones del *qué* aprendemos. Se relaciona con el *contenido* del aprendizaje y, obviamente, el aprendizaje de *cualquier* contenido puede estudiarse desde esta perspectiva.

Esta segunda orientación de la fenomenografía del aprendizaje sirve de contexto teórico para la interrogante a considerar *¿Cómo se da un cambio de una conceptualización a otra?* Ciertos cambios en nuestra forma de ver y entender el mundo, de los cuales somos conscientes, cuando ocurren son espectaculares. Filogenéticamente, derivan de algunas rupturas importantes en el pensamiento científico; ontogenéticamente, a menudo, derivan de la enseñanza formal e informal: el pensamiento del niño, adolescente o adulto es guiado por alguien que sabe más o conoce mejor que él.

Un ejemplo muy claro de un cambio de este tipo es el giro de una concepción geocéntrica a una heliocéntrica del mundo. La reestructuración Copernicana de nuestra imagen del sistema solar, ciertamente, llegó acompañada de un cambio radical en significado: la imagen de la tierra como centro del universo, fue sustituida por la imagen de la tierra como un cuerpo celeste, de entre otros muchos.

De hecho, se podría argumentar que en nuestra vida cotidiana experimentamos el mundo de una forma geocéntrica, de manera que mantenemos en paralelo las dos concepciones. (Algo similar ocurre con los niños menores de seis años, que tienen la creencia de que hay una tierra en la que viven que es plana y otra que es redonda y que flota en el espacio, que es la que les han enseñado los adultos).

Con los ejemplos antes mencionados, no se pretende cuestionar el reemplazo de la nueva forma de ver el mundo por la antigua, o si existen simultáneamente. Más bien, cómo ocurrió el aprendizaje, en el sentido de un cambio en, o una ampliación de, nuestra forma de ver algo, en este caso del universo.

Aún cuando los anteriores ejemplos de un cambio de concepción parecen atípicos, existe un número enorme de estos cambios que subyacen a la adquisición del conocimiento y las habilidades de varios tipos, que ocurren sin que nos percatemos de ellos y esta actividad constituye la forma más fundamental de aprendizaje. Pero, como forma de aprendizaje no sólo es fundamental, sino que la mayoría de las veces es invisible, en el sentido de que comúnmente no somos conscientes de cómo vemos el mundo.

El hecho que se desea destacar, es que, regularmente, no somos conscientes de que vemos el mundo de una manera particular; pensamos que vemos el mundo simplemente como es. Cuando por alguna u otra razón, empezamos a ver algo de una forma que es cualitativamente diferente de como lo veíamos antes, normalmente, no notamos el cambio. Por ejemplo, sólo en casos excepcionales podemos conjeturar cómo nos parecían las cosas cuando éramos niños. Es probable que nos parecieran muy diferentes a como las vemos de adultos.

Entendemos al mundo que nos rodea de maneras diferentes. Al mismo tiempo, cada quien adquiere su propia forma de verlo, más aún, cada quien asume que los demás ven el mismo mundo como uno lo está viendo. Esa es la razón por la que la forma de aprendizaje, antes descrita, no sólo es la más fundamental y menos visible, sino que también es la más difícil de acceder.

Con frecuencia, los maestros piensan que si los alumnos dicen y hacen cosas equivocadas, todo lo que tienen que hacer es inducirlos a que digan y hagan las cosas correctas. Lo que los maestros pierden de vista es que el razonamiento del alumno es, casi siempre, correcto, en relación a su forma de ver las cosas.

De modo que, el asunto crucial no es cambiar lo que los alumnos dicen y hacen, sino cambiar su comprensión del fenómeno. El problema es que para cambiar una comprensión, primero hay que identificarla.

Si logramos algún esclarecimiento acerca de cómo entiende una persona un fenómeno particular, se habrá hecho una contribución para el desarrollo de otra comprensión cualitativamente mejor del mismo fenómeno y con ello un subsecuente desarrollo en el razonamiento y la acción. Entonces, lo que el individuo diga y haga será más razonable, en términos de su nueva y cualitativamente mejor comprensión del fenómeno.

Lo importante no es saber que hay tantas formas de entender el mundo como personas hay en él; todo lo contrario, lo que se está argumentando es que todo fenómeno puede entenderse dentro de un número limitado de formas cualitativamente diferentes. En consecuencia, puede concebirse al aprendizaje como una transición de una de estas formas a otra. En este contexto, el papel del maestro es asegurar que ocurra tal transición. Un requisito para hacer esto es que el maestro identifique las diferentes formas de comprensión de un fenómeno de particular interés.

A la idea del aprendizaje como un cambio de conceptualización hacia una cualitativamente diferente y mejor de la misma cosa, también se le conoce como "*cambio conceptual*" (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982). Vosniadou y Brewer (1987) usan la expresión "Reestructuración del conocimiento" para referirse a este campo de investigación.

La investigación sobre las concepciones del entendimiento, parte de la convicción de que las situaciones en las que ocurre la comprensión influyen sobre los significados que se construyen. De acuerdo con Pea (1993)

"...el rico cuerpo de evidencia empírica y teorías acerca de los patrones de razonamiento y solución de problemas en ciencia entre niños, adolescentes y adultos no científicos, descritos en términos de 'malentendidos', 'concepciones erróneas', 'preconcepciones', 'teorías intuitivas', etcétera, todos ellos comparten la convicción de que los aprendices enfocan la tarea de aprendizaje formal de la ciencia, con estructuras y estrategias conceptuales que los conduce a soluciones discrepantes con la ciencia formal."

Nos proponemos revisar el trabajo realizado sobre las condiciones de enseñanza y aprendizaje que dan lugar a distintas comprensiones de los contenidos disciplinarios que los maestros promueven en las escuelas. A partir de los datos generados por la investigación, sobre el cambio conceptual y la fenomenografía del aprendizaje, nos permitirán conocer la lógica de las diferentes comprensiones; desde aquellas que podríamos considerar como "incorrectas" o "erróneas", hasta las que podríamos calificar de genuinas o correctas. Se presentarán los resultados obtenidos por la investigación fenomenográfica sobre la comprensión de un concepto científico, la selección natural, entre estudiantes universitarios que se encontraban cursando la carrera de Biología Marina. Finalmente, se analizarán algunas propuestas psicopedagógicas para los maestros, emanadas de la investigación sobre el cambio conceptual.

EL CONTEXTO DE COMPRESIÓN EN EL AULA.

El contexto de comprensión lo constituyen los conocimientos previos del sujeto que conoce, la información disponible y accesible en el medio en el que se desenvuelve y la problemática que le plantea la observación de los fenómenos a explicar. En buena medida, estas condiciones del contexto de comprensión son posibles de diseñar en un escenario de enseñanza y aprendizaje.

Generalmente se acepta que la comprensión es un proceso activo, por medio del cual se construyen los significados. Los nuevos conocimientos se interpretan a la luz del conocimiento previo activado. La comprensión es personal y depende del contexto, del que se recibe la nueva información, del conocimiento almacenado, con que cuenta el aprendiz para interpretar la nueva información, y del contexto dentro del que se recupera el conocimiento disponible. Sin embargo, aún cuando el conocimiento previo es necesario para lograr la comprensión, lo más importante es la forma en la que este se encuentra organizado y no tanto la cantidad de información almacenada (Burns, Clift y Duncan, 1991).

La comprensión es un proceso gradual y no de todo o nada, el grado de comprensión se relaciona con el grado de complejidad, cantidad e interconectividad de la información a ser acomodada en la estructura de conocimiento.

El contexto de comprensión disciplinaria en el aula, se puede entender como un proceso de negociación y apropiación social del significado, aún cuando la comprensión es un proceso individual. Los aspectos cruciales del aprendizaje se construyen, fundamentalmente, por medio de las conversaciones entre personas, que incluyen la creación de comunicaciones y esfuerzos para interpretar esas comunicaciones.

La creación e interpretación son procesos recíprocos de la acción conversacional humana, por medio de la cual el significado de la acción simbólica, que implica el habla, deíxis y representaciones, como los diagramas y fórmulas negociadas (Goodwin & Heritage, 1990).

En esta perspectiva, la comunicación no se considera como una transmisión-recepción unidireccional del significado de las intenciones comunicativas; como si estas intenciones estuvieran completamente especificadas como representaciones mentales y entonces expresadas; más bien se concibe como comunicaciones transformadoras bidireccionales, de las cuales emerge el significado en el espacio entre dos interlocutores. Se proponen dos mecanismos, negociación y apropiación de significados, como componentes integrales del aprendizaje conversacional.

El significado de la producción de acciones simbólicas de uno, se construye progresivamente, en virtud de los turnos sucesivos de habla y acción. Cada turno ofrece una respuesta posible a lo que se quiere y prepara una etapa para lo que viene después. De este modo, las personas construyen, cooperativamente, los territorios de creencias, significados y entendimientos, por ellas compartidos en la actividad, al mismo tiempo que especifican sus diferencias.

Por medio de los recursos de interpretación, hechos públicos en el espacio conversacional, se producen ricas oportunidades para que los hablantes determinen cómo han de ser entendidos, lo que a menudo, aunque no siempre, los conduce a una negociación del significado y al cambio conceptual.

De acuerdo con Schegloff (1992), la negociación de significados se presenta cuando se utilizan procedimientos interaccionales como los gestos de aprobación o desaprobación, las peticiones de aclaración o de mayor elaboración, los comentarios, correcciones, parafraseo y otros artefactos lingüísticos de señalamiento y problemas de circunscripción de comprensión compartida.

El segundo mecanismo es la apropiación, éste surge de otra tradición de investigación psicológica, que no es el análisis conversacional, sino la teoría de Vigotsky. Las personas aprenden las funciones de muchos objetos del mundo que les rodea, no por descubrimiento o exploración de éstos, sino por involucrarse en actividades en las que se les utiliza. Por ejemplo, un niño no aprende qué es y para qué sirve un martillo, experimentando con él. Del mismo modo una persona adulta no aprende qué es un fax, manipulándolo o explorándolo, sino que se involucra en actividades que requieren su uso y reciben un instructivo del usuario. Este mismo fenómeno se presenta con todos los artefactos u objetos culturalmente diseñados, los cuales son aprendidos a partir de su uso en actividades socialmente compartidas.

La apropiación tiene dos formas, la primera es cuando uno toma de otro para intentar una comprensión (traducción); la segunda, proviene de la observación práctica, con la que uno puede emular lo que observó. Estas dos formas de apropiación son fundamentales para la actividad de crear sentido, durante la interacción conversacional y para el aprendizaje de la comprensión.

Los maestros y los estudiantes entre sí, se apropian de las acciones simbólicas, de las que aprenden, durante la realización de sus actividades de enseñanza-aprendizaje. A través de las interpretaciones de los otros (aquellas interpretaciones de sus acciones conversacionales), un alumno puede entender más de lo que podía al inicio de un curso; el maestro transmite algún mensaje o realiza alguna acción y el alumno la interpreta de alguna manera. Al tomar una producción para comprender, el alumno se ayuda para moldear su posible próxima respuesta; a su vez, el maestro también busca interpretarlo.

Así el maestro puede (con)firmar la interpretación del alumno, o bien puede refutarla, rechazarla, refinarla, reelaborarla, o también puede comprometerse en la corrección del significado, por medio de un proceso de reparación.

Sin embargo, no se aprende únicamente con rupturas y reparaciones, porque, primordialmente, éstos procesos funcionan para establecer un proceso ritual de afirmación, un alineamiento entre hablantes. También hay una generatividad innovadora importante en los procesos conversacionales. El alumno puede aprender cómo hacer para que sus producciones pueden entenderse, a través de la adquisición de las interpretaciones que los otros hacen de lo que él dijo, aún cuando ellos no hayan entendido el uso que él quiso dar a su producción (yo no quise decir eso, quise decir...). El alumno como escucha, actúa como si entendiera Y, cuando el maestro dice o hace X.

La apropiación del alumno, que escucha, puede empujar la producción del maestro a un nuevo marco de actividad de interpretación y tratarla de una manera más adecuada que la antes practicada. El alumno no puede negarse a la participación en un curso que pretende concluir; porque es una asimilación a la comunidad a la que desea pertenecer. Aunque es posible lo contrario, algunos alumnos rehuyen a la participación, haciendo una apropiación primitiva, limitando con ello su potencial de aprendizaje.

¿Pueden conducir al cambio conceptual los procesos de negociación y apropiación de significados?

El señalamiento de problemas, por parte del escucha (alumno), puede atraer la atención del hablante (maestro) sobre la necesidad de reformular su creencia de que ellos habían entendido; o sobre la clarificación de sus expresiones si sienten que se han distorsionado. La señalización conforme a una apropiación puede provenir del alineamiento con un mensaje reformulado hacia el mensaje escuchado o de una aceptación silenciosa de la interpretación del otro.

Aún cuando los resultados de la conversación, a menudo, son fines comunes, cooperativamente estructurados, la negociación y apropiación de significados son procesos, fundamentalmente, agonísticos, con un discurso resultante que refleja los triunfos de la apreciación. Uno puede aceptar el contenido de una apropiación del habla/ actividad a través de la interpretación de otro, o sucesivamente, mantenerse en que la apreciación no fue bien escuchada, o considerarla como un error en su propia expresión, o en contraste reformulamos nuestra habla/actividad para alinearla con las expectativas del que nos escucha. Estos procesos de cambio, rara vez son precipitados, más bien ocurren en el curso de muchos turnos conversacionales, de sesiones de habla y acción.

El enfoque sobre el significado como uso, nos remite a Wittgenstein, podemos ver que la pericia o expertez se obtienen dinámicamente, mediante la participación continua en el discurso de una comunidad y no necesariamente por medio de la posesión de un conjunto de habilidades de solución de problemas y estructuras conceptuales.

El logro de la pericia hace indistinguibles las acciones y usos de las representaciones en los juegos del lenguaje, en los que participa el alumno con los miembros de la comunidad académica que los practica. Los miembros ya incorporados se encuentran tácitamente comprometidos en la evaluación de nuevas membrecías, cada vez que un estudiante se involucra en una conversación con ellos- durante la cual demuestra su competencia comunicativa con sus palabras y acciones.

El cambio conceptual se pone de manifiesto en el desempeño de sus actividades que parecen auténticas, dentro de la comunidad de interés. Es necesario reorganizar los ambientes de aprendizaje de la ciencia, de manera que los estudiantes se capaciten para "hablar" de la ciencia y para producir e interpretar los actos del habla requeridos para participar en las actividades científicas y no tanto para "escuchar" acerca de la ciencia.

Una faceta crucial de la práctica de la ciencia es su retórica- cómo está organizado el discurso del campo, cómo se presentan los puntos de vista, qué se considera como un argumento y su soporte.

Las formas de discurso de una disciplina pueden considerarse como una especie de juego de lenguaje, concepto acuñado por Wittgenstein (1953), para referirse a los procesos por medio de los cuales se comunica y desarrolla el significado. En términos de este filósofo, muchas de las actividades humanas pueden concebirse productivamente como juegos de lenguaje, en los que la participación en ellos puede conducir a apropiarse del uso del lenguaje para las actividades en ellos implicadas, las cuales permiten un refinamiento de los significados en su contexto de uso.

Una meta importante de la enseñanza de la ciencia es ayudar a los alumnos a comprender la naturaleza del conocimiento científico. De acuerdo con Carey y Smith (1993) el logro de esa meta requiere de una epistemología constructivista de la ciencia, aquella que posibilita a los estudiantes desarrollar una comprensión de que el científico produce teorías que parten de la generación e interpretación de hipótesis y experimentos específicos.

Comprender que nuestro conocimiento de las regularidades de la naturaleza, es una consecuencia de conjeturas exitosas, no un antecedente, y que es esencial una perspectiva teórica adecuada para la observación y experimentación. De modo que sin cuestionar la fe de los estudiantes, en que las teorías pueden reflejar la realidad, quizá sea posible ayudarlos a ver a las teorías como construcciones intelectuales a gran escala, que constituyen la comprensión del científico, las cuales guían sus actividades de investigación. Este tipo de comprensión ayudaría a los estudiantes a entender porqué hacen experimentos los científicos, porqué estos pueden generar controversias legítimas en la ciencia y porqué es difícil el aprendizaje de la ciencia.

EL modelo de cambio conceptual como fundamento de la comprensión disciplinaria.

La producción de un contexto favorable, que aumente las probabilidades del cambio conceptual requerido por la comprensión disciplinaria genuina y que reduzca las distorsiones disciplinarias, requiere de un marco conceptual que busque comprender cómo ocurre la reestructuración del conocimiento y cómo construir un ambiente de aprendizaje que facilite esta reestructuración. Estamos conscientes que este marco puede generar importantes cuestionamientos filosóficos, psicológicos y pedagógicos, acerca de cómo ocurre el cambio conceptual y qué características del desarrollo del conocimiento deben formar parte de los currícula y ambientes de aprendizaje.

El énfasis implícito en el cómo, representa un giro en la perspectiva de la enseñanza de la ciencia, que va desde lo que uno desea abarcar con las "formas de conocimiento científico", como objetivo dominante, hasta otro enfoque que favorece el posicionamiento del aprendiz, para razonar como científico. Este cambio en perspectiva representa un punto de partida radical y complejo, en relación con la práctica común de la enseñanza de la ciencia.

Siguiendo a Duschl y Gitomer (1991), el modelo de cambio conceptual, ofrece criterios completamente diferentes para decidir qué y cómo enseñar. La adopción de este modelo para la enseñanza requiere que el maestro sea explícitamente comprensivo. Dotar a los maestros de modelos filosóficos y psicológicos apropiados para la selección y secuenciación de las tareas instruccionales, les ayudaría a describir y prescribir estrategias de aprendizaje significativo y efectivo.

FUNDAMENTOS DEL CAMBIO CONCEPTUAL

El MCC emplea, en su marco teórico, términos como esquemas, marco esquemático, teoría, cambio conceptual, los cuales orientan las actividades asociadas con el desarrollo del conocimiento o reestructuración del mismo. Al enfocarse hacia los individuos y las teorías, cada dominio de investigación tiene un mutuo interés por lo que se considera como evidencia prototípica (ejemplares) y contra evidencia (datos anómalos) del desarrollo del conocimiento.

Bajo esta perspectiva, Carey (1986) propone que los maestros que enseñan ciencias, tomen en cuenta las contribuciones, en principios y conceptos, de la historia y la filosofía de la ciencia que permitan a los estudiantes interpretar y comprender el desarrollo conceptual alcanzado por los científicos.

Posner y colaboradores (1982) sugieren que la concepción del cambio conceptual en el desarrollo científico se puede aplicar a la educación. Ellos proponen que si los estudiantes han de cambiar sus compromisos con las ideas científicas o sus marcos esquemáticos, se tiene que cumplir con cuatro condiciones:

1. Debe demostrarse a los alumnos que sus ideas existentes son inadecuadas,
2. Las nuevas ideas que se proponen a los estudiantes deben ser inteligibles, coherentes e internamente consistentes,
3. Las nuevas ideas deben ser plausibles,
4. Las nuevas ideas deben ser preferibles a los viejos puntos de vista, en el terreno de la elegancia percibida, parsimonia y/o utilidad.

Sin embargo, a menudo, los estudiantes se muestran renuentes a cambiar sus concepciones, aún después de la enseñanza que busca el cambio conceptual (véase Pintich, Marx, et al. 1993).

Quizá la limitación fundamental de la aplicación de la teoría del cambio conceptual, como la plantean Posner, et al (1982), se encuentre en que su epistemología se adhiere a un modelo jerárquico; el cual asume que el cambio, en los fundamentos centrales de una teoría científica, trae aparejados cambios en sus fundamentos ontológicos, metodológicos y axiológicos. Los estudios sobre historia de la ciencia ofrecen ejemplos en los cuales esto o necesariamente ocurre así.

La discusión es si la representación holística del cambio, en un marco conceptual, es simultánea o secuencial. Esencialmente, un modelo jerárquico del cambio conceptual otorga un énfasis indebido al estatus ontológico del esquema conceptual sobre las consideraciones de cómo afectan los fundamentos metodológicos o axiológicos en los cambios en esquemas conceptuales.

Según Laudan (1984) esta visión holística del cambio en las teorías científicas, es errónea por varias razones; primera, dan por sentado, con imprecisiones, que ocurren los consensos y disensos científicos; segunda, enfatizan el consenso sobre el disenso en la ciencia; y tercera, sobrevaloran la importancia del papel de los propósitos cognitivos y la metodología, en el establecimiento de la evidencia que apoya el cambio conceptual.

En un post-escrito de Kuhn encontramos una perspectiva en la que sostiene que los cambios en concepciones ocurren vía cambios en las partes y no en el todo. La matriz disciplinaria habla de la compleja naturaleza de las teorías. Kuhn (1970, p.182) escribe, "...sin embargo, en la filosofía de la ciencia actual, el concepto de teoría connota una estructura de naturaleza y panorámica más limitada que las que aquí se requiere". En consecuencia, se sigue que la matriz disciplinaria también habla de la compleja naturaleza de la reestructuración del conocimiento.

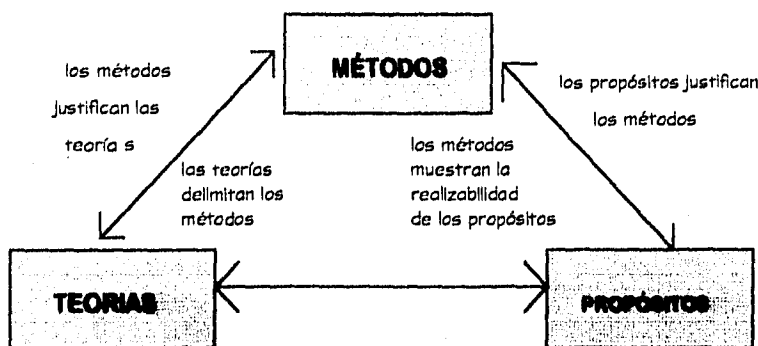
Para Laudan (1984) la noción de cambio implica cambios en ontología, metodología y axiología que ocurren separadamente y en periodos distintos y mutuamente excluyentes.

" En lo que difiere, fundamentalmente, la imagen reticular de la jerarquía, es en la insistencia de que se trata de un proceso complejo de ajuste y justificación mutua entre los tres niveles de compromisos científicos. La justificación fluye tanto hacia adelante como hacia atrás de la jerarquía, los propósitos vinculantes, métodos y enunciados factuales. No tendríamos porqué considerar a uno de estos niveles como privilegiados, en relación a los otros, que también son fundamentales. La axiología, metodología y enunciados factuales se encuentran inevitablemente interconectados, en una relación de dependencia mutua. El orden implícito, en un enfoque jerárquico, daría forma a una especie de principio de etiquetamiento que enfatice los patrones de mutua dependencia entre los varios niveles "(p.62).

Laudan propone lo que llama Modelo Reticulado (véase Figura 9) y argumenta que la justificación del conocimiento científico implica un componente de desarrollo que puede representarse con una red triádica, donde:

1. Los propósitos justifican la metodología y deben armonizar con la teoría,
2. La metodología justifica la teoría y muestran lo realizable de los propósitos,
3. La teoría delimita la metodología y armoniza con los propósitos.

Figura 9. Red Triádica de Justificación de Laudan



La ventaja de la red triádica de Laudan es que abandona los modelos jerárquicos del cambio que sugieren que un cambio de teoría automáticamente resulta en cambios en los propósitos y metodología. Este modelo triádico permite la posibilidad de que un científico que trabaja en una disciplina puede alterar los compromisos teóricos y mantener los compromisos metodológicos y axiológicos existentes, previamente desarrollados con un marco teórico que se abandona.

Sin embargo, a menudo, la enseñanza de las ciencias falla en la presentación del desarrollo del conocimiento científico como esquema holístico. Es típico que nuestros currícula presenten imágenes del cambio con tópicos gruesos que encubren los marcos temporales y los eventos críticos que hicieron posibles los cambios, tanto en su forma actual como en sus antecedentes.

La aplicación de la red triádica, como una epistemología para guiar las decisiones instruccionales, debe ayudar a los maestros, que enseñan ciencias, a cuestionar el "principio de clasificación" que se encuentra incrustado en nuestra enseñanza tradicional de las ciencias, en la planeación de las clases y en el diseño de programas de investigación.

Asimismo, nos recuerda la necesidad de incluir cambios importantes en los métodos y propósitos. Tomando en cuenta todas las partes, estaremos mejor informados acerca de como hacer una presentación más significativa de la ciencia a los estudiantes y para dotarlos de estrategias de construcción o reestructuración de su conocimiento científico.

REESTRUCTURACIÓN DE LAS CONCEPCIONES DE LOS ESTUDIANTES

Nuestras concepciones del cambio conceptual en ambientes de aprendizaje han estado orientadas por los avances de la psicología cognitiva. Esta psicología considera a los estudiantes como agentes activos en el proceso de construcción de significados.

La enseñanza constructivista se caracteriza por una reestructuración continua, modificación y adaptación de los propósitos del conocimiento, así como de sus métodos y tópicos de investigación. Ejemplos de este enfoque de la enseñanza de la ciencia que enfatiza la reestructuración del conocimiento son:

1. El ciclo de aprendizaje (Chapagne, 1988),
2. El Modelo de Enseñanza del Cambio Conceptual (Anderson & Smith, 1986; West & Pines, 1985),
3. El Modelo de Aprendizaje Generativo (Osborne & Wittrock, 1983),
4. El uso de analogías y puentes analógicos (Duit, 1990; Zeitsman & Clement, 1990).

En los ambientes de enseñanza del cambio conceptual, el curriculum y las actividades de aprendizaje se diseñan para favorecer la construcción de teorías, al mismo tiempo que se respeta el sistema de creencias de los alumnos. A menudo, estas teorías de los alumnos recapitulan el desarrollo histórico del pensamiento científico (Thagard, 1990).

La evaluación del aprendizaje, puede ofrecer la oportunidad para que se confronten y refuten las concepciones actuales, vía un conjunto de interacciones guiadas por el profesor y aquéllos puedan reestructurar sus teorías. Novak & Gowin (1984); Resnick (1983); Finley (1983); y Anderson & Smith (1986) han documentado el efecto positivo que tiene el conocimiento previo de los alumnos sobre su aprendizaje subsecuente.

Para Carey (1986), Gibson (1985) y Giere (1988), un enfoque del cambio conceptual debe considerar tanto las características estructurales, como las evolutivas de los alumnos. Desde una perspectiva estructural, para ellos, las teorías científicas y los esquemas cognitivos tienen mucho en común. Se puede pensar a las teorías como compuestas de hechos, principios, enunciados legaliformes cohesionados por las prácticas metodológicas y axiológicas aceptadas. Los esquemas cognitivos también pueden pensarse como una construcción de conceptos y enunciados preposicionales gobernados por reglas y valores que guían su síntesis.

Un asunto central en la aplicación de la epistemología de la enseñanza de la ciencia, es la descripción de los mecanismos del cambio, en la estructura de las teorías o en la estructura de los esquemas conceptuales y cómo cada uno se relaciona con el desarrollo del conocimiento.

La investigación sobre esta perspectiva (Stricke & Posner, 1982; 1990; Kuhn, Amsel y O'Loughlin, 1980; Carey et al., 1989) sugiere que los marcos epistemológicos de los aprendices constituyen un factor que afecta los cambios en la representación del conocimiento. A nivel del aula, se traduce en lo que los alumnos consideran como evidencia a favor o en contra de una explicación científica emergente.

¿Es posible tratar a los datos y ejemplares anómalos como evidencia para reestructurar el conocimiento?

¿Cómo usar la evaluación del aprendizaje para ayudar a los alumnos a compartir los criterios que gobiernan los juicios acerca de la calidad de los propósitos y su evidencia científica?

Se ha demostrado que el conocimiento científico se basa en las particularidades de un dominio específico. De modo que el conocimiento declarativo o de dominio específico relacionado con los principios, leyes, teorías y generalizaciones de la ciencia, debe enseñarse junto con el conocimiento procedimental, genérico y estratégico del dominio en cuestión. Dentro del contexto del desarrollo científico normal o de reestructuración débil hay una pequeña cantidad de conocimiento procedimental que se adquiere acerca de una fina sintonización y ajuste de relaciones conceptuales. Pero si vamos a producir una reestructuración radical de conceptos, el correlato personal de la ciencia revolucionaria de Kuhn, entonces parece que también debemos enseñar el conocimiento procedimental implicado en la evaluación de la teoría, la evidencia, observación y datos.

Los principios epistemológicos contemporáneos hablan de la importancia de establecer una base de aceptación de teorías científicas que son revisionistas y tentativas (Whitt, 1990). Sobre esto podemos concluir que, para entender cómo se generan las teorías es igualmente importante entender cómo se revisan, alteran y reemplazan. En síntesis, debemos prepararnos para incluir en la enseñanza lo que favorece los cambios en la epistemología de los alumnos.

Sin embargo, esta tarea no es sencilla. Es posible que la naturaleza elusiva de la enseñanza para el cambio conceptual se encuentre en la sustitución del currículum actual por otro enfocado a la enseñanza para la comprensión y no tanto para la transmisión de conocimientos.

LA ENSEÑANZA ENFOCADA HACIA EL CAMBIO CONCEPTUAL.

La adopción de este modelo tiene dos condiciones básicas: Primera, las interacciones educativas entre los maestros y los alumnos deben servir para monitorear los aprendizajes significativos y, segunda, elaborar proyectos que orienten las actividades y tareas instruccionales.

También se requiere que el maestro asuma un compromiso con un conjunto de criterios epistemológicos elaborados, necesarios para asimilar los componentes más importantes y complejos del dominio específico, para la reestructuración del conocimiento.

El trabajo de los alumnos debe derivarse de una concepción epistemológica de la estructura de un dominio. No sólo las actividades y tareas instruccionales y problemas evaluativos, requieren habilidades consideradas importantes para un dominio, sino que aquellas habilidades deben incorporarse a los contextos que reflejan una porción significativa de la estructura epistemológica.

Evaluación

El papel de la evaluación dentro del Modelo de Cambio Conceptual (MCC) es fundamental y muy diferente a la que se practica en la enseñanza actual. En la perspectiva del MCC, el proceso de evaluación es aquél en el que se evalúan, discuten y confrontan los propósitos de conocimiento. De hecho, se le concibe como un producto adjunto a los maestros y alumnos, que recapitula, en gran medida, las explicaciones científicas de los fenómenos.

La evaluación cuidadosa del conocimiento del estudiante, exige que los maestros diseñen experiencias instruccionales que presionen a los alumnos a confrontar sus creencias y a estimular la reestructuración conceptual. Es de capital importancia que los estudiantes aprendan a tratar con el proceso de evaluación de sus conocimientos, en lugar de memorizar sucesivamente teorías. Hay tres razones para destacar la importancia de la evaluación:

Primera, porque es crucial la comprensión que los estudiantes logran, como resultado de su aprendizaje. Segunda, una enseñanza apoyada en el cambio conceptual se orienta hacia la comprensión del proceso de desarrollo conceptual, no hacia los productos, que pueden elucidarse a través de técnicas de evaluación apropiadas.

Tercera, la evaluación desempeña un papel central en la comunicación de los criterios de desempeño que son admisibles dentro de un dominio específico. Desafortunadamente, a menudo, estos criterios se comunican insatisfactoriamente, en términos de su relación con la disciplina científica.

Cuando la evaluación se construye apropiadamente, puede ayudar al profesor y a los estudiantes a articular las cualidades y valores importantes de la empresa científica (véase la comparación entre cognición cotidiana versus cognición científica de Reif y Larkin 1991).

Se concibe a la evaluación como un esfuerzo formativo, instruccional y colaborativo que ocurre entre el alumno y el profesor. Esta se inicia haciendo públicos los criterios por medio de los cuales se valora el trabajo de los estudiantes. Estos criterios, en un sentido muy real, articulan los valores de un dominio. La evaluación sirve como el único vínculo para articular las metas de estudio de un dominio, para todos los participantes de la empresa educativa. La evaluación es una actividad pública que se comparte con y entre los alumnos, maestros e institución educativa. En este sentido, la evaluación debería cumplir con tres requisitos principales, que en seguida se comentan.

Primero, el trabajo en el aula emana de las actividades instruccionales, que son experiencias científicamente válidas. Creemos que las actividades instruccionales requieren concentrarse en los principios fundamentales que subyacen a un dominio (enunciados evaluativos del conocimiento) en lugar de hechos y procedimientos numerosos con los que se acostumbra llenar el currículum.

Segunda, incluir evidencia de los procesos de desarrollo conceptual de los alumnos. Tercera, incluir actividades reflexivas que ayuden a los estudiantes a aprender cómo pensar acerca de su trabajo, así como de su desarrollo conceptual en forma legítimamente científica. La evaluación es un mecanismo por medio del cual los maestros y alumnos se involucran en un discurso acerca del conocimiento científico.

Imaginemos a un profesor en el aula, quien al mismo tiempo que busca modular y conseguir cambios en el conocimiento de los alumnos; parece difícil que pueda demostrar el desarrollo del conocimiento, con los periodos de consenso y disenso en la disciplina que enseña, y que al mismo tiempo muestre que, pese a éstos, la ciencia sigue siendo una actividad racional. Aún cuando es considerable la inversión en esfuerzo intelectual y temporal, los resultados potenciales serán considerablemente favorables.

CONSECUENCIAS EDUCATIVAS DEL USO DEL M C C.

1. Los objetivos curriculares y la planeación de la enseñanza se enfocarían hacia la comprensión del estudiante de las explicaciones científicas, lo cual requiere de un compromiso con la evaluación de la evidencia, propósitos de conocimiento y los datos.
2. Las actividades instruccionales se diseñarían para desarrollar y estimular la reestructuración de las explicaciones. El proceso de construcción del conocimiento empieza con la identificación de contextos instruccionales apropiados o temas que definen la orientación de las actividades y tareas de enseñanza.
3. El trabajo del estudiante se evaluaría en términos de su consistencia. Un tema seleccionado para una clase, establece un compromiso propositivo, el paso siguiente es diseñar y desarrollar un trabajo académico que contribuya a la representación del problema para su eventual solución, en función del propósito comprometido

El cumplimiento de esos requisitos no es un asunto sencillo, si tomamos en consideración el contraste entre la tradicional forma de enseñar ciencia y la propuesta cognitiva del MCC.

<i>Cultura tradicional de la enseñanza de la ciencia.</i>	<i>Cultura cognitiva de la enseñanza de la ciencia.</i>
Enfoque Método científico estricto, hipotético-deductivo. Epistemología del positivismo lógico: fuerte distinción entre observación/teoría	Método científico flexible Epistemología científica del realismo semántico: interrelación observación/ teoría
Papel del alumno Imagen de un alumno pasivo/receptor de significados científicos. Bajo nivel de reflexión, usuario de estrategias preestablecidas	Imagen de un alumno activo/receptor de significados científicos negociados. Elevado nivel de reflexión, usuario de conocimiento estratégico fundamentado.
Papel del profesor Transmisor de conocimiento científico, no participa en la construcción del conocimiento. Seguidor estricto del currículum establecido.	Recreador del conocimiento científico, participante activo en la construcción del conocimiento. Modifica y adapta el currículum establecido.
Metas curriculares Conocimiento científico establecido, Énfasis en las formas explicativas finales del desarrollo científico, Superficialidad en la presentación del conocimiento científico, Conocimiento científico básico, Unidades curriculares discretas.	Conocimiento acerca de la ciencia, Énfasis en el cómo y por qué de la ciencia, en el desarrollo del conocimiento científico y sus explicaciones, Profundidad en la presentación del conocimiento científico, Conocimiento científico contextualizado, Unidades curriculares continuas.

Tabla tomada de Duschl y Gitomer (1991)

Criterios de evaluación

El trabajo de los alumnos debe considerarse en términos del perfeccionamiento conceptual y no en términos absolutos de correcto o incorrecto. Dado que no se puede anticipar la panorámica de soluciones, es imposible evaluar esta clase de desempeño, sin contar con la interpretación de jueces capaces. Una meta es que los maestros se preparen para ser jueces capaces.

El desarrollo y establecimiento de criterios o estándares de evaluación, requiere de una cuidadosa consideración de la calidad, dentro de un dominio, y ésta proviene de la epistemología de la disciplina que se enseña. Dos argumentos muy dispares pueden ser de elevada calidad; también dos respuestas superficialmente similares, pueden variar dramáticamente en calidad. Johanson y Lybeck (1982), nos ofrecen un buen ejemplo de esta situación, ellos realizaron una investigación sobre razonamiento proporcional en adolescentes y les plantearon a sus sujetos el siguiente problema:

"...un carro se mueve a una velocidad constante y en tres segundos recorre seis metros. ¿Qué distancia recorrerá en nueve segundos? Hay dos maneras de encontrar la solución. Una es que el estudiante se concentre en la relación entre variables; '9 es 3 veces 3, de modo que lo que tengo que hacer es multiplicar 6×3 ', que es 18'. La segunda es aquella en la que el estudiante se centra en la relación entre las variables; 'si 6 es 2 veces 3, entonces tengo que multiplicar 9×2 , que es igual a 18'. Desde un punto de vista de cálculo matemático, es irrelevante la distinción entre las dos estrategias de solución del problema. Sin embargo, desde el punto de vista de la física, la diferencia es muy importante: el relacionar dos cualidades diferentes, una con otra, en términos de una relación cuantificada, es fundamental para poder comprender el concepto de función. La segunda forma de razonamiento ha sido más fructífera para el progreso de los estudiantes de física."

Los tipos de productos que podemos esperar de los alumnos no resisten fácilmente un análisis lógico. Los estándares de lo que se considera como una garantía o soporte aceptable, están determinados por una comunidad relevante. Así tenemos que los soportes aceptables pueden ser completamente diferentes para un físico que para un economista. Sin embargo, los esquemas comparables para evaluar la calidad de un argumento, también han ido emergiendo en las ciencias naturales.

El establecimiento de estándares dentro de un contexto de evaluación, requiere de algo más que la identificación de las características más importantes de un tema a considerar. Debe haber un sentido de los niveles de ejecución compartidos por los jueces. Consecuentemente, la elaboración de los estándares debe incluir una comprensión compartida de los criterios que se utilizan para juzgar una buena ejecución.

Es importante que la discusión sobre el establecimiento de estándares se oriente hacia el logro de una comprensión compartida de los conceptos y tópicos que se van a evaluar.

El mejor camino para asegurar esta comprensión es tomar el trabajo de los alumnos como base de discusión. A su vez, estas discusiones deben tener especificidad, tanto los maestros como los alumnos deben sustentar sus propósitos de aprendizaje con evidencia. Ambos necesitan desarrollar la habilidad de búsqueda de evidencia sustentante, para fundamentar sus argumentos. Los componentes sujetos a evaluación, no deben limitarse a nociones preconcebidas de tipos específicos de aprendizaje, referidos a partes específicas del trabajo de los estudiantes.

En esencia, el proceso de evaluación es una actividad de creación de sentido, sustentada en el trabajo de los alumnos realizado en las aulas. Toda propuesta sobre el aprendizaje académico requiere de sustento con datos y un reconocimiento de validez entre la comunidad.

Comprender cómo los alumnos de ciencias responden a los datos anómalos es esencial para entender la adquisición del conocimiento científico en las aulas.

Se postulan siete formas diferentes de respuestas ante los datos anómalos (Chinn & Brewer, 1993), de las cuales sólo en una se aceptan los datos y se cambia la teoría inicial. En las seis respuestas restantes se implica el rechazo de los datos para mantener la teoría preinstruccional.

La cuestión central es ¿Cómo responden los estudiantes cuando sus creencias, acerca del mundo físico, entran en conflicto con la información que se les presenta durante la enseñanza del conocimiento científico?

Esta interrogante es crucial por dos razones; primera, la ocurrencia de información contradictoria es muy común cuando uno aprende acerca de la ciencia. Las creencias previas a la enseñanza del conocimiento científico de los estudiantes, acerca del mundo natural, se conflictúan fuertemente con muchas teorías científicas aceptadas, que se les enseñan en las escuelas, de una gran variedad de dominios específicos; Biología, Química, Física, etcétera. De modo que el encuentro con información contradictoria es un hecho que ocurre frecuentemente durante la adquisición del conocimiento científico en las aulas.

Segunda, es común que los estudiantes se resistan a abandonar o modificar sus creencias preinstruccionales. En lugar de eso, frente a la nueva información que se les propone, mantienen sus viejas ideas y rechazan o distorsionan las nuevas ideas. Por ejemplo, los niños de primaria pueden pasarse semanas enteras estudiando fotosíntesis y persistir en su creencia preinstrucciona de que las plantas obtienen su alimento del sol. Así mismo, muchos alumnos adolescentes de bachillerato y hasta universitarios, que han pasado por varios cursos de física, no abandonan sus concepciones preNewtonianas del movimiento.

Es claro que una clave para mejorar la enseñanza de las ciencias, es encontrar mejores formas de convencer a los alumnos de cambiar sus teorías preinstruccionales, en respuesta a las nuevas y, para ellos, contradictorias teorías científicas.

Virtualmente todos los enfoques de la investigación sobre la enseñanza de las ciencias comparten un ingrediente común, el uso de datos anómalos. Es decir, presentan a los estudiantes evidencia que contradice sus teorías preinstruccionales.

El propósito de ese artefacto metodológico es, provocar en el estudiante una insatisfacción con sus propias teorías, que no pueden dar cuenta de los datos anómalos, y en lugar de éstas aceptar la teoría científica que se les propone y que si puede explicarlos.

Aún cuando hay una gran variedad de enfoques metodológicos y formas de presentación de los datos anómalos: laboratorio, demostraciones en vivo, simulaciones con computadora, explicaciones verbales, etcétera, todos buscando la precipitación del cambio de teoría.

En la historia de la ciencia, el enfrentamiento de datos anómalos ha desempeñado un papel fundamental en las revoluciones científicas. Plausiblemente, se supone que es necesario presentar datos persuasivos para convencer a los estudiantes de que abandonen sus teorías intuitivas bien arraigadas. Sin embargo, el uso de los datos anómalos no es una panacea, ya que muy frecuentemente los alumnos rechazan los datos anómalos para preservar sus teorías.

Cuando se utiliza la estrategia de presentación de datos anómalos para cambiar las teorías intuitivas de los alumnos, los profesores tienen que tomar en cuenta y tener respuesta para las siguientes interrogantes:

1. *¿Cuáles son las diferentes respuestas que los alumnos pueden dar ante los datos anómalos?*
2. *¿Cuáles son las condiciones que conduce a las diferentes respuestas ante los datos anómalos?*
3. *A partir de las respuestas a las dos interrogantes anteriores, ¿Qué puede hacer el maestro, en su aula, para cambiar las teorías intuitivas de los alumnos?*
4. *¿Cómo se puede diseñar la instrucción para aumentar la probabilidad del cambio conceptual en los alumnos y reducir la probabilidad de que ellos desacrediten los datos anómalos?*

Hasta donde sabemos, nadie ha desarrollado un modelo teórico o una teoría sobre la comprensión de las respuestas ante los datos anómalos. Las formas fundamentales en las que los científicos reaccionan ante los datos anómalos, son muy parecidas a las reacciones de los legos adultos y estudiantes. Los procesos de razonamiento científico de los alumnos son similares a los de los científicos.

En forma idealizada, conceptualizamos la situación en la que ocurren los datos anómalos de la siguiente manera:

- *Un individuo, en el presente, tiene una teoría A,*
- *este individuo se encuentra con datos anómalos, que no puede explicar con su teoría A*
- *los datos pueden ser anómalos porque se conflictúan claramente con la teoría A, o simplemente porque su teoría A no sirve para explicar los datos,*
- *los datos anómalos pueden estar o no acompañados de una teoría B, que pretende explicar mucho del cuerpo de datos que explica la teoría A más los anómalos.*

¿Cuáles serían las posibles respuestas de un individuo ante la presencia de datos anómalos? Chinn y Brewer (1993), postulan siete respuestas básicas :

- (a) *ignorar* los datos anómalos,
- (b) *rechazar* los datos anómalos,
- (c) *excluir* los datos anómalos del dominio de la teoría A,
- (d) *mantener en suspenso* los datos anómalos,
- (e) *reinterpretar* los datos anómalos, manteniendo la teoría A,
- (f) *reinterpretar* los datos anómalos, haciendo cambios periféricos a la teoría A, y
- (g) *aceptar* los datos anómalos y abandonar la teoría A, en favor de la teoría B.

Analizaremos cada forma de respuesta apoyándonos en ejemplos de la historia de la ciencia y en evidencia experimental de la ciencia cognitiva y de la enseñanza de la ciencia. Se apela a la historia de la ciencia por cuatro razones:

1. La historia y la filosofía de la ciencia han sido una fuente fructífera de ideas y evidencia para la enseñanza de la ciencia,
2. Los ejemplos de la historia de la ciencia, a menudo, son particularmente claros y apropiados,
3. Una clasificación que se proponga dar cuenta de cómo responde la gente ante datos anómalos, acerca del mundo físico, debe hacer posible la explicación tanto de las respuestas de los científicos como de los no científicos,
4. Permite ilustrar las semejanzas entre científicos y legos. Cuando se yuxtaponen los ejemplos de la historia de la ciencia y los de la psicología cognitiva, se hace más claro que los estudiantes que aprenden ciencia, frecuentemente, responden en formas esencialmente similares a las de los científicos.

A partir de la anterior clasificación de las posibles respuestas ante datos anómalos, Chinn y Brewer (1993) realizaron un análisis de su presencia equivalente entre científicos, que por considerarlo importante, lo resumimos a continuación.

(a) *Ignorar los datos anómalos*, representa una forma extrema de habérsela con los datos anómalos. Cuando un individuo ignora los datos, simplemente no tiene porque explicarlos. Su teoría A permanece intacta e incólume.

En la historia de la ciencia, no es raro que los científicos hayan ignorado datos anómalos publicados, aún por la prensa popular, por considerarlos carentes de valor, de objetividad, etcétera. Por ejemplo, la superconductividad.

(b) *Rechazo de datos anómalos*, esta respuesta es similar a la primera, excepto que aquí el individuo llanamente no acepta los datos, no por que los pase por alto, como en el caso anterior, sino que simplemente los rechaza y obviamente no hará ningún cambio a su teoría A. La diferencia entre la anterior respuesta y ésta es que, en la primera, el individuo no intenta explicarlos; mientras que en la segunda, puede articular una explicación de porqué los rechaza.

El rechazo es muy común entre los científicos y puede variar, desde una crítica metodológica o teórica detallada hasta una vaga e imprecisa, como "debe haber algún error en su experimento".

Los individuos que rechazan datos, utilizan una variedad de razones para su rechazo. Sin embargo, hay tres muy comunes: (i) argumentan que hubo un error metodológico fundamental en la forma en la que se obtuvieron los datos; (ii) argumentan que los datos fueron producto del azar; (iii) afirman que los datos son un fraude, (véase la reacción de Skinner a los datos de los Breland).

En la historia de la ciencia encontramos que se rechazaron los datos de Copérnico, porque se contradecían con la visión del mundo e Aristóteles, argumentando que eran producto de un error metodológico de su telescopio.

(c) *Exclusión de datos anómalos*, el individuo que excluye los datos anómalos de su teoría, no tiene que hacer un juicio de la validez de los datos. Obviamente, cuando un individuo excluye los datos anómalos del dominio de su teoría, no lo lleva a cambiarla. En la historia de la ciencia, Laudan (1977), ejemplifica esta respuesta con el caso del movimiento Browniano, que fue un fenómeno en busca de explicación desde 1828 y que llevó casi un siglo para encontrar una disciplina que se hiciera cargo de su explicación.

(d) *Mantener los datos en suspenso*, un individuo no necesita dar una explicación inmediata de datos anómalos. Es decir, si tiene una teoría particular, puede mantener en suspenso los datos anómalos, con la esperanza de tratar con ellos más tarde. Lo que esta respuesta tiene en común con las anteriores, es que mantiene inalterada la teoría A inicial. Mantener en suspenso los datos anómalos deja abierta la posibilidad de que la teoría A, algún día pueda dar cuenta de ellos.

Kuhn (1962) ha argumentado que este tipo de respuesta se encuentra muy difundida entre los científicos, cuando enfrentan datos discrepantes. Un ejemplo de esta situación fue el tratamiento que dieron los físicos Newtonianos a la órbita de mercurio, hasta finales de 1800. Aún cuando, por un periodo largo, la órbita de mercurio era inconsistente con la Mecánica Newtoniana, no se modificó la Teoría de Newton.

(e) *Reinterpretación de los datos anómalos*, un individuo puede, a la vez, aceptar los datos anómalos y su propia teoría A, reinterpretándolos. La diferencia entre reinterpretar y rechazar, es que el individuo que reinterpreta, acepta los datos anómalos como algo que debe explicar con su teoría A.

En el caso de la reinterpretación, los soportes de las teorías A y B pueden concordar en algún nivel, respecto a los datos, pero a nivel teórico generan diferentes interpretaciones de los datos. Como con todas las respuestas anteriores, la reinterpretación no requiere cambiar la teoría A preexistente.

La historia de la ciencia nos ejemplifica esta respuesta con el caso de los hallazgos de Alvarez sobre el elemento químico indio del cretáceo.

(f) *Cambios Periféricos de la Teoría*, Lakatos (1970) ha distinguido entre dos tipos de proposiciones dentro de una teoría: proposiciones del núcleo duro y las del cinturón protector. Las primeras no pueden alterarse sin derrumbar la teoría completa, pero las segundas pueden alterarse sin que sufra el núcleo central de la teoría. Así tenemos que es posible otra respuesta ante los datos anómalos, y es que *el individuo haga una ligera modificación a su teoría A*. El individuo que así responde, acepta los datos anómalos, pero muestra renuencia a abandonar su teoría A en favor de la teoría B. Esta es la primer respuesta, de las que hemos revisado, que implica algún cambio en la teoría inicial del individuo.

Existe un gran variedad de modificaciones a una teoría que caen en la categoría de los cambios periféricos. Por ejemplo, el individuo puede agregar o eliminar hipótesis teóricas auxiliares, cambiar creencias acerca de cómo deben conducirse experimentos en el dominio teórico, ajustar la definición de un constructo teórico, o alterar el dominio de la teoría. Sin embargo, en todos estos casos, los cambios dejan intactas las hipótesis centrales de la teoría.

La historia de la ciencia, nos proporciona el ejemplo de las primeras respuestas a las observaciones telescópicas de Galileo, generaron cambios periféricos en la teoría. Una suposición central, de los opositores de Galileo, era que los cuerpos celestes eran esferas perfectas. Después de observar a través del telescopio de Galileo, uno de sus oponentes aceptó haber visto algunas montañas en la luna. Sin embargo, él argumentó que las montañas se encontraban empotradas dentro de una esfera de cristal perfectamente transparente (Drake, 1980). Esta modificación periférica de su teoría permitió al oponente dar cuenta del dato anómalo, a la vez que mantenía su creencia central de que la luna era una esfera perfecta.

Vosniadou y Brewer (1992) ofrecen evidencia de respuestas de este tipo con niños de 4 a 6 años, sobre sus creencias de la forma de la tierra. Ellos reportan que los niños tienen la teoría de que la tierra tiene una forma plana. Cuando los adultos les dicen que la tierra es redonda, ellos enfrentan una información anómala. Algunos niños adoptan las dos teorías, haciendo una reconciliación; una tierra plana que es a donde viven y otra redonda que es la que flota en el espacio.

(g) *Cambio de Teoría*, el efecto más fuerte que los datos anómalos pueden tener sobre un individuo es, impulsarlo a cambiar su teoría previa por una nueva. Por cambio de teoría *entendemos a los cambios en una o más creencias centrales del teórico*. En esta forma de respuesta ante una información contradictoria, el individuo acepta los nuevos datos y los explica haciendo cambios en sus creencias centrales a su teoría A, o aceptando una teoría alternativa B.

En la historia de la ciencia, encontramos que un cambio de teoría esta precedido por una serie de anomalías empíricas que, colectivamente, parecen explicarse mejor con una teoría alternativa. Kuhn ofrece el ejemplo de la revolución científica en la química, originada por Lavoisier.

Las respuestas ante datos anómalos implican una tarea de coordinación entre teorías y datos. Hay tres tipos de decisiones que el individuo tiene que hacer para coordinar los nuevos datos anómalos a una teoría existente.

1. Si el individuo acepta o no los datos como válidos,
2. Si el individuo puede proporcionar una explicación del por qué acepta o no los datos como válidos, y
3. Si el individuo cambia o no su teoría previa.

En la tabla siguiente se muestran las siete respuestas y sus diferencias sistemáticas en relación con las tres decisiones.

Tabla 1 Características de cada una de las siete respuestas ante datos anómalos.
Características de la respuesta

Tipo de respuesta	¿Acepta S los datos?	¿Explica S los datos?	¿Cambia S su teoría?
1. <i>Ignorar</i>	No	No	No
2. <i>Rechazar</i>	No	Sí	No
3. <i>Excluir</i>	Sí o quizá	No	No
4. <i>Mantener en suspenso</i>	Sí	No	No
5. <i>Reinterpretar</i>	Sí	Sí	No
6. <i>Hacer Cambios periféricos</i>	Sí	Sí	Sí parcial
7. <i>Cambiar de teoría</i>	Sí	Sí	Sí

(Tabla tomada de Chinn & Brewer, 1993)

Como se puede observar, sólo hay un caso en dónde se presenta un cambio de teoría, para explicar los datos anómalos. En seis de las siete respuestas se preserva la teoría previa del sujeto.

A continuación nos referimos a las seis respuestas que preservan la teoría previa.

Si los maestros van a usar datos anómalos para provocar un cambio de teoría, deben entender los factores que interactúan para determinar cómo responderán los alumnos ante esos datos.

¿Qué causa que un estudiante rechace los datos, en lugar de cambiar su teoría?

¿Por qué los alumnos sólo hacen cambios periféricos a su teoría previa?

¿Cuáles son las condiciones que hacen menos probable que un estudiante responda para preservar su teoría y más probable el cambio de teoría?

Se proponen cuatro componentes clave que interactúan para determinar cómo responderá la gente frente a datos anómalos.

- (a) el conocimiento previo de la persona,
- (b) la existencia de una teoría alternativa,
- (c) la presencia de los datos anómalos, y
- (d) las estrategias de procedimiento que orientan la evaluación de los datos anómalos.

Factores que influyen sobre el cómo responde la gente frente a datos anómalos.

1. *El atrincheramiento de la teoría previa.*
2. *Creencias ontológicas.*
3. *Compromisos epistemológicos.*
4. *Contexto del conocimiento.*
5. Características de la nueva teoría: *Disponibilidad y Calidad de la nueva teoría.*
6. Características de los datos anómalos: *Credibilidad, Ambigüedad y multiplicidad.*

El atrincheramiento de la teoría previa, ocurre cuando el individuo tiene una o más creencias profundamente arraigadas. Una creencia arraigada, es aquella que se encuentra fuertemente atada a una red de otras creencias (véase Brewer y Chinn, 1992; Hewson, 1981; Posner, et al, 1982; Vosniadou y Brewer, 1992).

Más específicamente, una creencia profundamente arraigada es aquella que: (a) tiene una gran cantidad de soporte vivencial y (b) participa en un amplio rango de explicaciones en varios dominios. Además, una creencia puede estar enraizada porque satisface fuertes metas personales y sociales.

Entre los científicos, el principio de la conservación de la masa y la energía, esta muy arraigado porque se usa para soportar explicaciones exitosas en muchos dominios, desde partículas, en la física, hasta cuerpos celestes, en la astronomía. Entre los fumadores, la creencia de que fumar no dañará su salud, esta muy arraigada en una red de otras creencias altamente incompatibles con la meta de dejar de fumar.

Es improbable que una persona cambie una creencia que tiene profundamente arraigada, y cuando enfrente datos anómalos, intentará ignorarlos, rechazarlos, excluirlos, mantenerlos en suspenso o reinterpretarlos. Si esta persona se ve muy presionada por los datos anómalos, quizá haga algunos cambios periféricos a su teoría. Esta persona abandonará su teoría, sólo cuando los datos anómalos sean rotundamente convincentes.

En la investigación empírica, es necesario asegurar que la medición del atrincheramiento es independiente de la del cambio de teoría. Esto evita la circularidad de decir que las creencias enraizadas son difíciles de cambiar y que uno sabe que las creencias son arraigadas porque son difíciles de cambiar. Hay investigaciones que cumplen con este criterio y que proporcionan respaldo a esta posición (véase Hewson & Hewson, 1983; Khahr, Dunbar y Fay, 1990; Kurda, 1987; Swan, Pelham y Chidester, 1988; Wu y Shaffer, 1987).

Una pregunta interesante acerca de las teorías bien atrincheradas, es si las teorías bien desarrolladas son necesariamente atrincheradas. Crocker, Fiske y Taylor (1984) han sostenido que los esquemas bien desarrollados, son muy resistentes al cambio, en comparación con los esquemas pobremente desarrollados de los novatos. Sin embargo, Strike y Posner (1985) opinan lo contrario, al señalar que es perfectamente posible tener un esquema bien desarrollado de la teoría marxista de la economía, sin creer en ella.

Schauble, Glaser, Raghavon y Reiner (1991) encontraron que los estudiantes con los mejores modelos desarrollados sobre el comportamiento de los circuitos eléctricos, tienen mayores probabilidades de cambiar sus creencias, al enfrentar datos anómalos, que otros alumnos que contaban con modelos pobremente desarrollados.

Una razón que parece explicar el que los sujetos con modelos pobremente desarrollados fueran incapaces de establecer las distinciones conceptuales necesarias para interpretar significativamente los datos anómalos. "El conocimiento que es inconexo, aislado y local puede fallar en aportar algún poder de inferencia sustentada, que sirve para guiar y evaluar nuevas interpretaciones de los datos (p.27)."

En consecuencia, parece que los esquemas bien desarrollados, no necesariamente están atrincherados. La clave es si el esquema se encuentra atrincherado en un soporte de evidencia y se utiliza para dar soporte a un amplio rango de otras teorías y observaciones en las que la persona cree.

Creencias Ontológicas

Hay una clase de creencias teóricas que se encuentran profundamente arraigadas y que merecen una mención especial. Estas son las creencias ontológicas (acerca de las categorías y propiedades del mundo), que se utilizan como soporte de ideas transdominios o subdominios, que son muy remotas a la experiencia y muy difíciles de cambiar. Ejemplos de creencias ontológicas erróneas, muy resistentes al cambio, son; creer que los electrones y protones son objetos que se mueven bajo un patrón discreto único; que el tiempo transcurre a una tasa constante, independientemente del movimiento relativo; que el calor es una sustancia y que la fuerza es algo interno de los objetos en movimiento.

Se ha sostenido que muchas concepciones distorsionadas acerca de la física, se deben a fallas ontológicas en conceptos tales como: calor, luz, fuerza, etcétera, que los alumnos de secundaria creen que son sustancias materiales. Estas fallas en las suposiciones ontológicas, no solo conduce a los estudiantes a rechazar ideas científicas aceptadas, sino también les dificulta su comprensión de las mismas (Carey, 1986).

Compromisos epistemológicos

Son creencias acerca de lo que es el conocimiento científico y de lo que se considera como una buena teoría científica. Estas creencias, son relativamente inmunes al cambio, porque no se usan para sustentar ideas en muchos dominios diferentes. Muchos alumnos de secundaria y bachillerato tienen creencias epistemológicas sobre la investigación científica que hacen poco probable el cambio teórico racional. Una buena parte de ellos creen que aprender ciencia significa memorizar hechos y que la ciencia no se aplica al mundo de la vida diaria.

También hay quienes creen que el conocimiento científico es una copia fiel de la naturaleza y que la investigación científica es un proceso Baconiano de observación de hechos, en lugar de un proceso de construcción de teorías para explicar las observaciones empíricas.

¿Pueden las creencias epistemológicas facilitar un cambio de teoría en respuesta a datos anómalos, como lo opuesto a las respuestas conservadoras de teorías frente a datos? La respuesta es que es probable que ayude a los estudiantes a lograr un metaconocimiento explícito de como las teorías se relacionan con la evidencia, lo cual promovería un proceso de evaluación teórica más racional.

Reif y Larkin (1991) sostienen que los estudiantes deben entender que la ciencia demanda una consistencia más rigurosa, que la requerida por una teorización más mundana. Estos investigadores presentan una interesante contrastación entre la cognición cotidiana y la científica que resulta útil presentarla, para tener una idea de la complejidad que implica el cambio.

Metas	Dominio : la vida cotidiana	Dominio científico
Objetivo central	Lograr una buena vida	Predicción y explicación óptimas.
Sub meta	Predicción y explicaciones adecuadas.	
Requerimientos	Generalidad, parsimonia, precisión y consistencia adecuadas.	Generalidad, parsimonia, precisión y consistencia máximas.
Metas de trabajo		
Comprensión	Pocas inferencias, con varias premisas aceptables	Muchas inferencias y premisas muy específicas
Estimación de validez:	Importancia moderada, varias premisas aceptables reglas de inferencia plausibles	Importancia central, premisas basadas en la observación, reglas de inferencia muy específicas
Dominio de la cognición		
Estructura del conocimiento:		
Especificación de concepto	Implicita y basada en esquemas.	Explícita y basada en reglas
Organización del conocimiento.	Localmente coherente con organización asociativa	Globalmente coherente con organización lógica.
Métodos de solución de problemas	Inferencias cortas, basadas en el conocimiento compilado	Inferencias extensas, basadas en un conocimiento parsimonioso.
Tipo de métodos	No formales	Formales y no formales
Valoración de la calidad		
Control de calidad	informal	Estricto y explícito
Eficiencia	Niveles intuitivos para la realización de las tareas diarias	Diseñada para la ejecución de tareas complejas.

Easley (1990), sostiene que los alumnos deben entender que la ciencia es más un proceso de descubrimiento, que un cuerpo estático de conocimientos y que nada hay de malo en cambiar una teoría, deben entender que la controversia forma parte de la ciencia, lo que genera debate entre teorías alternativas.

El contexto del conocimiento de un individuo, es un factor extremadamente importante para la determinación de cómo responde un individuo ante la presencia de datos anómalos. Llamamos conocimiento antecedente al conocimiento científico que un individuo asume como válido, pero que específicamente no forma parte de la teoría bajo evaluación. Por ejemplo, los astrónomos que prueban teorías acerca del origen del universo, simplemente, asumen que su conocimiento matemático, de la física y sobre los radioscópios, son válidos. Sin embargo, dichos cuerpos de conocimiento no se consideran parte de las teorías que se están probando.

Dependiendo de sus contenidos, el conocimiento antecedente de un individuo puede tener efectos muy diferentes sobre su respuesta frente a datos anómalos. Por un lado, este conocimiento puede conducir al individuo a rechazarlos o reinterpretarlos. Por otro, lo puede conducir a aceptarlos y hacer cambios periféricos a su teoría y hasta cambiar de teoría.

Una paradoja de estos planteamientos es que a veces la falta de conocimiento antecedente, puede facilitar el cambio de teoría, cuando no se tiene teoría previa no es posible entender porque los datos anómalos son tales.

Se revisan dos características de una nueva teoría que influyen sobre la respuesta de un individuo que enfrenta datos anómalos: (a) la disponibilidad de una teoría alternativa plausible y (b) la calidad de la teoría alternativa, que incluye: la precisión, panorámica, consistencia y sencillez. Adicionalmente, se discute una tercera característica, que puede no ser estrictamente necesaria para un cambio de teoría, pero que si lo es para un cambio de teoría fundamentado, la inteligibilidad.

La disponibilidad de una teoría alternativa es importante, porque no se abandona una teoría, a menos que haya otra disponible y plausible. Una mala teoría es mejor que ninguna. Según Kuhn (1977), la calidad de la teoría alternativa tiene que ver con al menos cinco características:

1. Precisión, es consistente con los datos conocidos de su dominio,
2. Explica un amplio panorama de datos,
3. Es internamente consistente, así como con otras teorías científicas aceptadas,
4. Es sencilla, porque establece un orden entre fenómenos aparentemente aislados,
5. Es fructífera, porque genera nuevas aportaciones a partir de la investigación.

¿Cómo afecta la calidad de una teoría a la respuesta ante datos anómalos de adultos legos y estudiantes de ciencias? Parece razonable suponer que si una teoría cumple con los cinco criterios antes mencionados, será más probable que los individuos cambien de teoría y menos probables que conserven la propia cuando enfrentan datos anómalos.

Existe alguna evidencia psicológica y educativa en favor de tres de los cinco criterios: precisión, panorámica y consistencia (Burbules & Linn, 1988; Nussbaum & Novick, 1982); no se dispone de evidencia sobre la sencillez y la fructividad.

Características de los datos anómalos, hay tres que influyen sobre las respuestas de los individuos: (a) la credibilidad de los datos, (b) la ambigüedad y (c) la existencia de datos múltiples.

La paradoja de la enseñanza de las ciencias es que su meta es aportar nuevos esquemas que reemplacen las ideas existentes, en los estudiantes y que difieren de las teorías científicas que se les pretende enseñar. La solución de esta paradoja es una de las metas de la investigación cognitiva sobre el cambio conceptual. La palabra clave parece ser *la comprensión* (Carey, 1986). Comprender una nueva información significa, relacionarla con un esquema mentalmente representado, integrarla al conocimiento ya almacenado.

Nuestra herencia científica nos provee de un entendimiento profundo y contraintuitivo del mundo físico, biológico y social, y pretendemos enseñar a los alumnos, al menos, algunos aspectos de este entendimiento. También pretendemos descubrirles la naturaleza del proceso científico, especialmente, cómo se produce la comprensión científica del mundo natural.

Para comprender un texto o un lenguaje hablado, uno tiene que relacionarlo a un esquema de comprensión del mundo. La meta de la enseñanza de las ciencias es proporcionar nuevos esquemas de comprensión, esquemas que aún no se encuentran en la estructura de conocimiento disponible en los alumnos. Entonces, ¿cómo van a entender los estudiantes los textos y conocimientos que contienen información nueva?

Nuestro interés es indagar y sistematizar las formas de entendimiento o comprensión disciplinar, en términos de cómo interpretan los estudiantes aspectos o fenómenos de la realidad; especialmente de aquéllos que son socialmente significativos y que, se supone, son moldeados por los docentes de las instituciones educativas de nuestra cultura, es decir la cultura occidental industrializada.

Tradicionalmente, se ha pensado que una de las principales tareas de la psicología educativa es la aplicación de los principios generales del aprendizaje en los contextos educacionales (Kallos y Lundgren, 1975).

Esta creencia se ha sustentado en la idea de que los "principios generales del aprendizaje" se refieren al proceso y condiciones del aprendizaje; es decir, a las propiedades generales de "las actividades mentales" o "los cambios conductuales", así como también a las variables que operan sobre ellas. Asimismo, se ha pensado que *el contenido del aprendizaje es algo ya definido* por las disciplinas académicas como matemáticas, física, biología, etcétera.

La suposición subyacente, al anterior planteamiento, es que, una vez que se ha obtenido suficiente conocimiento sobre los procesos del aprendizaje, lo podemos aplicar al contenido disciplinario que ya conocemos; de modo que podemos saber lo que se debe aprender de matemáticas, física, biología, economía, etcétera.

Siguiendo con el anterior razonamiento, dado que, en lo general, sabemos lo que se debe aprender o comprender del conocimiento disciplinario y dado que estamos familiarizados con el correcto significado de aquél; por ejemplo, la Teoría de la Evolución de Darwin o un derivado (Dobzhansky, Ayala, Stebbins y Valentine, 1980); entonces sólo nos resta dar un paso para saber lo que debemos aprender o comprender de las disciplinas.

En la anterior perspectiva, persiste la idea de que el aprendizaje de contenidos disciplinarios ocurre por una transferencia de conceptos o principios ya establecidos hacia los espacios vacíos en las cabezas de los estudiantes. Sin embargo, si en lugar de esa noción de *tabula rasa*, pensamos en el contenido de aprendizaje como lo que hay en las mentes de los alumnos, en lugar de lo que hay en los libros de texto, entonces el aprendizaje tendría que concebirse en términos de cómo los estudiantes conceptualizan los contenidos. Este razonamiento nos llevaría a tratar de *entender cómo piensan los estudiantes acerca de lo que se les enseña y qué uso le dan al conocimiento que adquirieron*.

Cuando los estudiantes asisten a clases ya poseen varias concepciones, acerca de lo que se les pretende enseñar, mismas que el maestro intentará modificar o cambiar por las concepciones científicas. Generalmente, las concepciones que los estudiantes tienen acerca de una teoría, ley, principio o regla difieren de las del autor de libro de texto o de las del maestro. Esta discrepancia se presenta durante el proceso de enseñanza y las concepciones de los estudiantes no se derivan de las propiedades o "leyes generales" del aprendizaje, ni de la lógica de la asignatura que imparte el maestro o de la del autor del libro de texto, sino que derivan de las formas en las que los estudiantes elaboran o construyen los significados del contenido de aprendizaje.

Si aceptamos la tesis de que es importante conocer las concepciones alternativas que los estudiantes se pueden formar acerca de los fenómenos o de los aspectos por estos presentados, relacionadas con, o subyacentes a, las asignaturas que estudian, entonces tendremos que investigar justamente éstas concepciones.

Específicamente, estamos interesados en indagar qué es lo que los estudiantes universitarios de biología marina han aprendido o entendido acerca del concepto de selección natural de la teoría darwiniana.

Los mecanismos básicos de operación de procesos de evolución de las especies, por medio de la selección natural, fueron planteados a finales del siglo pasado. Pese a esto, tradicionalmente, se han presentado dificultades para enseñar adecuadamente el funcionamiento de los procesos de la selección natural, en las aulas de diferentes niveles educativos (Greene, 1990).

En la presente investigación, nos interesamos en indagar los tipos de comprensión del concepto de selección natural en estudiantes universitarios, que se encontraban estudiando la licenciatura en Biología Marina, a lo largo de los semestres en activo, en ese momento.

La intención era, no sólo develar los tipos de comprensión disciplinaria alcanzada por los estudiantes, sino también si se presentaba alguna clase de mejoría con el transcurso de los semestres.

Para la carrera de Biología, se puede decir que la comprensión del concepto de selección natural es un "concepto clave" del dominio disciplinario, forma parte de lo que podríamos llamar núcleo central de la teoría de la evolución. Asimismo, esta teoría es parte fundamental del curriculum de esta carrera.

La importancia de investigar los tipos de comprensión del concepto de selección natural en estudiantes universitarios de Biología Marina, radica en: el hecho de conocer la clase de comprensión que estos estudiantes han logrado, después de haber cursado uno o varios semestres, en los que se les ha enseñado lo que podríamos denominar núcleo central de la disciplina y el tipo de razonamiento metodológico que ha permitido la construcción teórica vigente. La posibilidad de transferencia del aprendizaje disciplinario alcanzado por los estudiantes condiciona, de algún modo, sus capacidades de solución de problemas disciplinarios y con ello su eventual formación como investigadores científicos de la disciplina.

En este contexto, el presente trabajo se enfocó a indagar qué cambios presenta el entendimiento o comprensión de la selección natural, en los estudiantes, a lo largo del currículo de la carrera de Biología Marina de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). Así como investigar si existe una lógica del proceso de cambio, los hallazgos permitirán a los profesores, alumnos y autoridades académicas de la institución contar con datos sobre los resultados de aprendizaje generados por la estructura curricular y las formas de enseñanza de la ciencia que practican los profesores.

Desde un punto de vista pragmático, esta última posibilidad permitirá a la comunidad académica reflexionar sobre la magnitud de la brecha que existe entre las metas curriculares que se han propuesto y los resultados de aprendizaje producidos; así como planear los posibles cambios que se requerirán para reducir la brecha al mínimo.

Desde un punto de vista teórico, la presente investigación representa un primer paso; cuyo propósito central es conocer la lógica de la comprensión disciplinaria que alcanzan los estudiantes, como resultado de aprendizaje de los cursos que han tomado, acerca de un dominio disciplinario específico; hacia la conformación de un modelo de enseñanza de la ciencia, sustentado en la investigación cognitiva del cambio conceptual.

En esta perspectiva, del cambio conceptual, se requerirán investigaciones adicionales, experimentales de ser posible, sobre el tipo de tratamiento psicopedagógico requerido para que los estudiantes que mantienen bien pertrechadas sus creencias "fenoménicas", tomen consciencia de las mismas y muestren con ello la apertura cognitiva necesaria para admitir la posibilidad de modificarlas o cambiarlas por las explicaciones científicas aceptadas.

FENOMENOLOGÍA DEL CONCEPTO DE SELECCIÓN NATURAL EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

La investigación se realizó con 108 estudiantes, de los cuales 61 eran de sexo masculino y 46 del femenino, los cuales representaron el 60.3% de los 179 de la matrícula total, que se encontraban cursando la carrera de Biología Marina en la Universidad Autónoma de Baja California Sur, a lo largo de ocho de los nueve semestres que componen el plan de estudios, excepto el sexto semestre que no se abrió por falta de demanda.

En la Figura 1 se presenta una gráfica de la población estudiantil y la proporción de alumnos encuestados y no encuestados. En la Figura 2 se presentan los porcentajes de alumnos encuestados por semestre de la carrera.

Figura 1,
Relación de alumnos encuestados y no encuestados

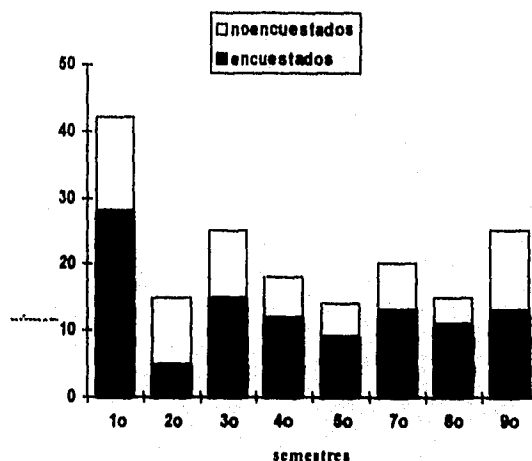
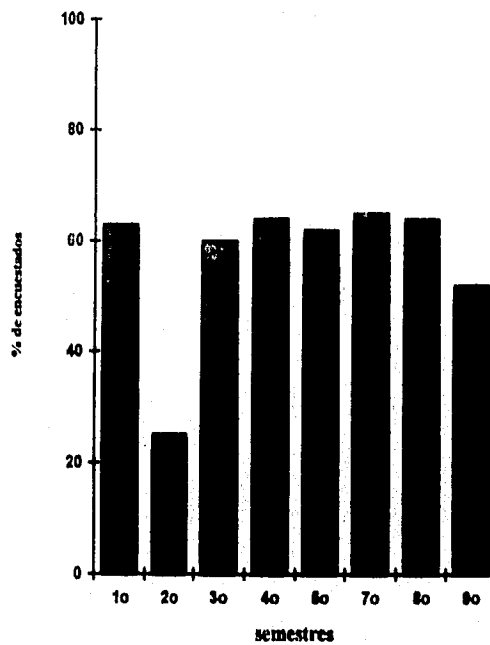


Figura 2
porcentaje de alumnos encuestados por semestre



METODOLOGÍA

En una reunión con todos los profesores del departamento de Biología Marina, el investigador y el jefe del Departamento presentaron el proyecto de investigación sobre la "comprensión del concepto de selección natural", además de explicarles el interés de las autoridades académicas por los resultados del mismo, se les pidió su cooperación y autorización para que un aplicador anónimo se presentara a su grupo a aplicar el instrumento de prueba.

Cuatro aplicadores (dos ayudantes de profesor y dos tesistas) se presentaron individual y simultáneamente en cada uno de los grupos de cada semestre, en un día "normal" de labores, el 22 de octubre de 1994. Con el permiso del profesor en turno, cada aplicador ofreció la siguiente petición a los estudiantes:

"Con el propósito de mejorar la enseñanza y el aprendizaje, las autoridades y los profesores del departamento de esta carrera acordaron la aplicación de un instrumento de prueba, sobre la comprensión que ustedes han alcanzado de conceptos fundamentales de la biología. Con tal propósito les entregaré una hoja con un problema que ustedes tendrán que resolver. La prueba es voluntaria y sus resultados no cuentan para su calificación en este curso, su único propósito es indagar, a partir de sus respuestas, cómo aplican ustedes el conocimiento que han adquirido en la solución de este problema. Tienen 20 minutos para resolver el problema.

Por favor anoten, en la hoja de respuesta, su nombre, sexo, edad y semestre. Anticipadamente, les agradecemos su cooperación para con esta investigación, que seguramente redundará en beneficio de todos."

Después de la anterior explicación, los aplicadores procedieron a repartir la hoja con el problema a resolver. Transcurridos los 20 minutos a partir de que recibieron la hoja, el aplicador recibió las respuestas escritas de los voluntarios, agradeció la cooperación de los alumnos y profesor en turno y se retiró.

CALIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS

Para evaluar del tipo de comprensión del concepto de selección natural alcanzado por los estudiantes, se diseñó una pregunta hipotética, cuya solución requería que los estudiantes recordaran lo que ya habían estudiado, en uno o varios cursos, sobre la teoría de la evolución, y que lo aplicaran al problema que se les planteó. La pregunta fue la siguiente

"Los ancestros de los actuales delfines no eran tan eficientes para nadar, tenían cuatro patas, similares a los actuales mamíferos terrestres. Supón que el delfín desarrolló aletas a partir de las patas de sus ancestros terrestres. Explica brevemente como pudo haber pasado esto, usando la idea de Selección Natural".

Con objeto de reducir el riesgo de preferencias personales y sesgos subjetivos, se instruyó como jueces independientes a dos profesores que no se encontraban frente a grupo, para que calificaran las respuestas de los estudiantes.

A cada juez se le instruyó para que calificara las respuestas conforme a los tres criterios siguientes: (1) Tipos de Enfoque, (2) Tipo de Cambio y (3) Concepto de Selección utilizado. A continuación se les proporcionó una lista de las definiciones de los criterios utilizados para la evaluación de las respuestas.

Tipo de enfoque

1) *Enfoque poblacional (Ep)*. Se consideró enfoque poblacional si:

- (i) Se hacía mención a las diferencias intrínsecas de los individuos que forman a los grupos de organismos (esto sin importar, de momento, la causa de tales diferencias).
- (ii) Se hacía mención sobre "diferentes grados de adaptación y/o adecuación" individual dentro del grupo de organismos.
- (iii) En caso de no estar explicitado el enfoque, pero si la respuesta consideró un Cambio Cerrado, el enfoque es forzosamente poblacional.

2) *Enfoque tipológico (Ep)*. Se consideró enfoque tipológico si:

- (i) No se hacía mención a las diferencias intrínsecas de los individuos en un grupo de organismos.
- (ii) Cuando sólo se enunciaba genéricamente a los organismos, lo cual implica el uso de un concepto de homogeneidad del grupo.
- (iii) De no especificarse el enfoque, pero se interpretó un Cambio abierto; puesto que esta opción implica también una homogeneidad poblacional, hasta que una necesidad demande el cambio.

Tipo de cambio

1) *Cambio cerrado (Cc)* Se consideró cambio cerrado cuando:

- (i) No se hacía alusión al medio o a las presiones del mismo como agentes del cambio evolutivo.
- (ii) Se hizo referencia a un cambio azaroso, ocasionado por el proceso meiótico o por mutaciones.
- (iii) Se incluía en la respuesta la posibilidad de modificaciones tanto negativas como positivas.

2) *Cambio Abierto (Ca)*. El cambio fue considerado abierto cuando:

- (i) Se mencionó al medio o a las presiones de éste como la fuerza generadora del cambio evolutivo,
- (ii) Sólo se consideró un cambio direccionado, hacia "el perfeccionamiento de la especie",
- (iii) No se hacía referencia a los procesos de entrecruzamiento meiótico y las mutaciones.

Tipo de selección

1) *Selección natural (Sn)*. Se consideró Selección Natural cuando:

- (i) Se mencionó directamente el efecto, positivo o negativo, de los cambios individuales en la sobrevivencia.
- (ii) Se consideró la importancia de la reproducción diferencial de los organismos, en relación a los cambios.

2) *Selección no funcional (S-f)*. Se consideró selección no funcional cuando:

- (i) se hizo alusión a las diferencias ocasionadas por los cambios selectivos, pero no se relacionó a éstas con diferencias en la sobrevivencia y/o el éxito reproductivo.

3) *Sin selección (Ss)*. Se consideró como sin selección:

- (i) Si no se mencionó a la Selección Natural como la causante de las diferencias en la sobrevivencia y/o en el éxito reproductivo.
- (ii) Cuando se hacía referencia a la herencia de caracteres adquiridos.

A partir de las anteriores categorías se generó un total de 12 combinaciones; que en orden descendente de precisión, son:

- 1.1.1) Enfoque poblacional, Cambio cerrado y Selección Natural (*Ep-Cc-Sn*);
- 1.1.2) Enfoque poblacional, Cambio cerrado y Selec. No Funcional (*Ep-Cc-S-f*);
- 1.1.3) Enfoque poblacional, Cambio cerrado y No Selección (*Ep-Cc-Ss*);
- 1.2.1) Enfoque poblacional, Cambio abierto y Selección Natural (*Ep-Ca-Sn*);
- 1.2.2) Enfoque poblacional, Cambio abierto y Selec. No Funcional (*Ep-Ca-S-f*);
- 1.2.3) Enfoque poblacional, Cambio abierto y No Selección (*Ep-Ca-Ss*);
- 2.1.1) Enfoque tipológico, Cambio cerrado y Selección Natural (*Et-Cc-Sn*);
- 2.1.2) Enfoque tipológico, Cambio cerrado y Selec. No Funcional (*Et-Cc-S-f*);
- 2.1.3) Enfoque tipológico, Cambio cerrado y No Selección (*Et-Cc-Ss*);
- 2.2.1) Enfoque tipológico, Cambio abierto y Selección Natural (*Et-Ca-Sn*);
- 2.2.2) Enfoque tipológico, Cambio abierto y Selec. No Funcional (*Et-Ca-S-f*);
- 2.2.3) Enfoque tipológico, Cambio abierto y No Selección (*Et-Ca-Ss*)

Como antes se mencionó, las respuestas fueron evaluadas en forma totalmente independiente, por dos profesores de la carrera de Biología Marina de la UABC. Los jueces requirieron de quince días para calificar el total de respuestas, dado que calificaban un promedio de siete respuestas por día hábil (tres semanas) durante las dos horas que dedicaron a esta actividad.

A cada juez se le proporcionó el siguiente formato de calificación de las respuestas.

Nombre del juez :-----

Semestre que cursa el alumno:

1°	2°	3°	4°	5°	7°	8°	9°
----	----	----	----	----	----	----	----

Tipo de Enfoque	Poblacional	Tipológico	
	1	2	
Tipo de cambio	Cerrado	Abierto	
	1	2	
Tipo de selección	Selec. Natural	Selec. no- funcional	No selección
	1	2	3

Con la finalidad de determinar el grado de confiabilidad entre los jueces, se aplicó la prueba de Kruskal-Willis (Siegel, 1978) obteniéndose un nivel de confiabilidad de 95%.

Adicionalmente, se determinó la similitud existente entre las 56 parejas de combinaciones intersemestrales. Con estos datos se construyó un dendograma de similitud para los ocho semestres analizados, empleando la técnica de ligamiento promedio no ponderado (Brower y Zar, 1981).

Partiendo de la premisa de que, si el tipo de cambio seleccionado por los estudiantes es independiente del tipo de enfoque, se esperaría que para cada enfoque existiera igual proporción de respuestas en cuanto a los tipos de cambio, y puesto que sólo existen dos cambios (cerrado y abierto); su diferencia sería igual a 0; se plantearon las hipótesis de:

- (1) a un enfoque poblacional le corresponde igual proporción de tipos de cambio y
- (2) a un enfoque tipológico también le corresponde igual proporción de tipos de cambio.

Estas hipótesis fueron cotejadas mediante una prueba de diferencia de proporciones ($\alpha = 0.05$) (Daniel, 1993). La Tabla I muestra los valores estadísticos de prueba y niveles de probabilidad comparativa alcanzados por los dos jueces.

Tabla I. Valores de los estadísticos de prueba y niveles de probabilidad para las comparaciones de ambos jueces. (Prueba de Kruscal-Wallis; Daniel, 1993)

<i>Semestre</i>	<i>Estadístico</i>	<i>Nivel de Probabilidad de prueba (P)</i>
1	0.35	0.52
2	0.01	0.91
3	0.04	0.94
4	0.09	0.75
5	0.55	0.45
7	1.21	0.27
8	0.38	0.53
9	0.15	0.69
Global	0.47	0.83

Luego, mediante pruebas de diferencia de proporciones, y suponiendo que las respuestas del tipo de enfoque y del tipo de cambio no son azarosas, se seleccionaron los datos de Enfoque Poblacional-Cambio Cerrado y Enfoque Tipológico-Cambio Abierto; asumiendo que si el Tipo de Selección fuese azaroso se esperarían proporciones iguales para cada categoría de selección, y puesto que existen tres de éstas, se supondría un tercio para cada una.

Con base a lo anterior se probaron las hipótesis de:

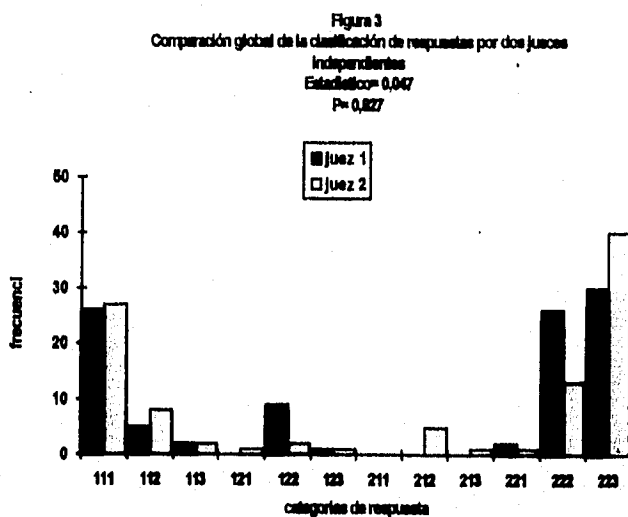
- (3) a la combinación *Ep-Cc*, le corresponde una tercera parte de Selección Natural;
- (4) una tercera parte de Selección No Funcional y
- (5) una tercera parte de No Selección.

De igual forma, se probaron las hipótesis de que:

- (6) a la combinación Enfoque Tipológico y Cambio Abierto le correspondería una tercera parte de Selección Natural;
- (7) una tercera parte de Selección No Funcional y
- (8) una tercera parte de No Selección.

ANÁLISIS DE DATOS

Del total de estudiantes de Biología Marina que entregaron sus respuestas al problema, 60.3% del total matriculado (véase Figura 1). En todos los semestres, exceptuando el segundo, respondieron más del 50% de los alumnos inscritos (véase Figura 2). Por lo que, considerando como población a los estudiantes inscritos en el semestre 1994-II, las muestras resultan significativas. En relación a las comparaciones entre los dos jueces como método de validación (véase Tabla 1), en todos los casos el estadístico no detecto diferencias significativas y las asignaciones de ambos revisores pueden considerarse iguales. La Figura 3 muestra el comparativo de las calificaciones asignadas por los dos jueces independientes.



La tabla II muestra las frecuencias de respuesta por cada categoría, conforme a las calificaciones del segundo juez, a partir de las cuales se elaboraron los subsiguientes análisis comparativos entre los tipos de enfoque, tipos de cambio y tipos de selección de las respuestas de los estudiantes.

Tabla II frecuencias de los tipos de respuesta por semestre

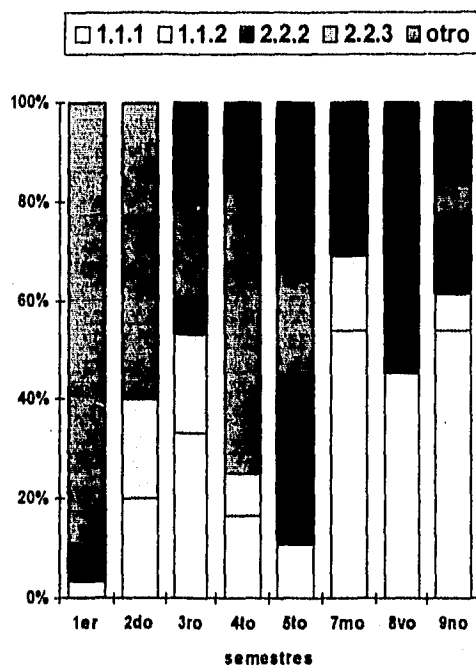
Tipo de Respuesta	Semestres									Total
	1°	2°	3°	4°	5°	7°	8°	9°		
1.1.1	1	1	5	2	1	7	5	7	29	
1.1.2		1	3	1		2		1	8	
1.1.3			1	1					2	
1.2.1							1		1	
1.2.2				1		1			2	
1.2.3					1				1	
2.1.1									0	
2.1.2			1		1	1	2	2	7	
2.1.3					1				1	
2.2.1			1						1	
2.2.2	2	3	1		3	2	3	2	16	
2.2.3	25	5	3	7	2			1	43	
Total	28	10	15	12	9	13	11	13	101	

Como complemento, se realizó una calificación adicional por parte de un tercer lector, para los semestres 2 y 5. Las calificaciones asignadas por este tercer lector se semejaron más a las del segundo, por lo que se consideró que, es más fácil igualar sus criterios de calidad.

Por lo anterior, se usaron las calificaciones del segundo juez para los análisis posteriores. Es decir se consideró que los criterios están adecuadamente validados porque: 1) los valores de probabilidad calculados, en todos los casos, fueron superiores a 0.05; 2) las asignaciones de dos semestres fueron semejantes con las de un tercer lector; y 3) el nivel de probabilidad global entre los lectores 1 y 2 fue altamente significativo (véase Tabla 1).

En las respuestas de los estudiantes a lo largo del curriculum (véase Figura 4), se nota una tendencia a mejorar la calidad de las mismas, conforme se avanza en la carrera. Así los semestres primero, segundo y cuarto se caracterizaron por el predominio de respuestas "erróneas" o de "malentendidos". Al parecer lo anterior tiene relación con las materias impartidas en dichos semestres. Sobre todo en lo que se refiere al primero y segundo, pues en éstos se imparten materias básicas (v. gr. Física, Química, Matemática), en las que no existe una relación explícita con los conceptos Selección Natural. La Figura 4 muestra el porcentaje de respuestas (ordenada) de las cuatro categorías más representativas por cada semestre (abscisa).

Figura 4
Agrupamientos de respuestas



Es notable, en la gráfica, lo atípico del porcentaje de respuestas correctas de los alumnos del tercer semestre. Sin embargo, el instrumento de medición (problema presentado), no permitió aclarar el porqué de su comportamiento anómalo, pues era de esperarse un resultado menos eficiente. Una probable explicación de la eficiencia mostrada por los alumnos de este semestre sería el bachillerato de origen.

En relación al bachillerato, se esperaría que la influencia de éste se diluyera conforme se avanza en el curriculum. Es decir, que en los primeros semestres podría ser un factor importante para el tipo de respuesta, pero conforme el alumno avance en la carrera cobraría más importancia lo visto en los últimos semestres de licenciatura cursados.

En suma, el presente trabajo se ve imposibilitado para responder adecuadamente al resultado anómalo del tercer semestre.

Por otra parte, a partir del séptimo semestre inicia el predominio de respuestas correctas. Desgraciadamente, al momento de realizar esta investigación, no existió sexto semestre en la carrera. Pero la manifiesta diferencia en las respuestas de los alumnos de quinto y séptimo semestre hacen suponer la existencia de un "cambio" conceptual a la altura del sexto semestre.

Al parecer la presencia de este "cambio" tiene una estrecha relación con el curso de Genética, impartido precisamente en el sexto semestre. Dado que, si bien los estudiantes han estado expuestos a conceptos relacionados con Selección Natural en materias impartidas en semestres anteriores (v. gr. Zoología I, II y III, y Botánicas I y II), es en Genética cuando estos conceptos forman parte de la trama fundamental del curso; en los restantes sólo son utilizados como material de apoyo.

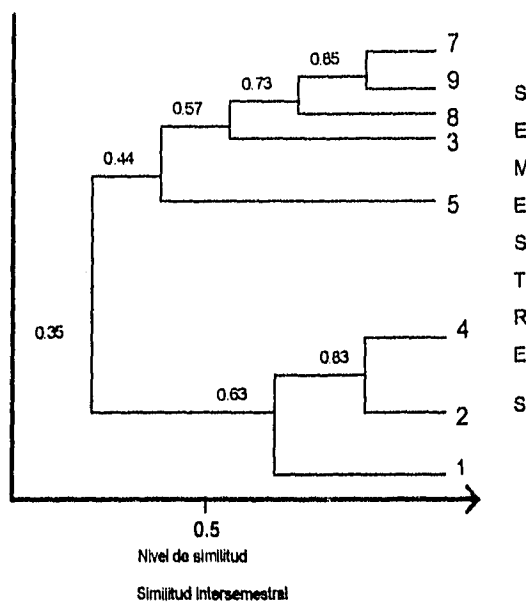
En los últimos semestres, séptimo y octavo, los conocimientos anteriores son, al parecer, reforzados por las materias de Reproducción y Adaptación respectivamente. Con relación al noveno semestre, al parecer el conjunto Genética-Reproducción-Adaptación le proporciona al alumnado un panorama adecuado de los procesos de Selección Natural. Sin embargo, aún en estos semestres "avanzados" existió la tendencia a distorsionar el proceso de Selección Natural. En el mencionado noveno semestre, es decir alumnos a punto de egresar, el 38% mostraron distorsiones acusadas en su entendimiento del proceso de selección.

Las relaciones anteriormente descritas se evidencian en el dendograma de similitud intersemestral (véase Figura 5), en el que se nota la formación de dos grandes grupos, ambos con más del 40% de similitud, en el primer grupo se incluyen los semestres 3°, 5°, 7°, 8° y 9°, el restante abarca a los semestres 1°, 2° y 4°. Es de notarse la alta similitud entre los semestres 7°, 8° y 9° (>70%).

Mientras que, como ya se mencionó, por razones no detectadas en esta investigación, el 3° semestre es el más parecido al grupo conformado por los tres semestres anteriores. Es de notarse que el 5° semestre presenta la menor similitud de ese grupo, se considera que de haber existido 6° semestre, este junto con el 5°, presumiblemente, formarían un grupo intermedio.

El grupo restante esta formado, con la salvedad del 3º, por los primeros semestres, en los cuales aún no son tratados a fondo los conceptos relacionados con Selección Natural.

Figura 5. Dendograma de similitud intersemesiral



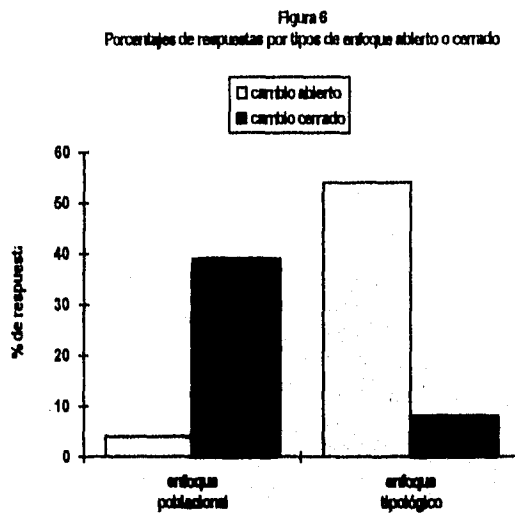
Por otra parte, existió una estrecha relación entre el Tipo de Enfoque y el Tipo de Cambio respondidos por el estudiantado (véase Figura 6), relación que fue corroborada mediante las pruebas de hipótesis 1 y 2 (véase Tabla.III), en éstas queda de manifiesto que a un 95% de confianza existió relación entre el enfoque y el cambio respondidos.

Tabla III. Valores de los estadísticos de prueba para las relaciones entre Tipo de Enfoque y Tipo de Cambio.

<i>Enfoque</i>	<i>Estadístico de Prueba</i>
Poblacional	13.03 (1)
Tipológico	12.32 (2)

Valor crítico, por debajo del cual se consideraría que las proporciones son iguales, es decir asignación azarosa: $t=1.96$. El número al lado del valor indica su correspondencia numérica con las hipótesis explicitadas en el texto.

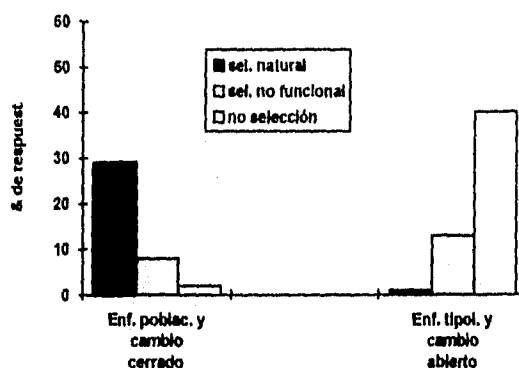
La Figura 6 muestra los porcentajes (ordenada) de respuesta en función del tipo de enfoque, poblacional o tipológico, en la abscisa. La gráfica muestra la polarización entre los dos enfoques que representan comprensiones contrapuestas de la selección natural.



En concordancia con lo anterior, al agrupar los datos de Enfoque Poblacional y Cambio Cerrado (90.6% del total de respuestas de Enfoque Poblacional), respuestas 1.1.1, 1.1.2 y 1.1.3; y los de Enfoque Tipológico y Cambio Abierto (87% del total de respuestas de Enfoque Tipológico), respuestas 2.2.1, 2.2.2, y 2.2.3; y relacionarlos con el Tipo de Selección correspondiente, se observó una marcada preferencia por relacionarlos con Selección Natural (respuestas 1.1.1) y No Selección respectivamente, respuestas 2.2.3.

La Figura 7 muestra los porcentajes de respuesta (ordenada), en función del tipo de selección y enfoque (abscisa). Nótese, nuevamente, la relación opuesta entre los dos extremos de la comprensión disciplinaria.

Figura 7
Porcentaje de respuestas que relacionan el tipo de selección con el tipo de enfoque



Tal relación fue corroborada mediante las pruebas de hipótesis correspondientes 3, 4 y 5 y 6, 7 y 8 respectivamente (véase Tabla.IV). Se observó que sólo en los casos de las pruebas que incluyeron a la Selección No Funcional (4 y 7), los estadísticos de prueba se acercaron al valor crítico. Es decir, la asignación de Selección No Funcional fue la única que tendió a ser azarosa, mientras que las restantes (Selección Natural y No Selección), estuvieron en estrecha relación con los tipos de Enfoque y Cambio seleccionados por los estudiantes.

Tabla IV. Valores de los estadísticos de prueba para las relaciones entre la combinación Enfoque-Cambio y los tipos de Selección.

Combinación	Tipo de Selección		
	Selección Natural	Selección Funcional	No Selección
Enfoque Poblacional Cambio Cerrado	5.88 (3)	1.98 (4)	8.01 (5)
Enfoque Tipológico Cambio Abierto	16.97 (6)	1.58 (7)	6.84 (8)

Valor crítico, por debajo del cual se consideraría que las proporciones son iguales, es decir asignación azarosa: $t=1.96$. El número al lado del valor indica su correspondencia numérica con las hipótesis explicitadas en el texto.

A continuación presentamos ejemplares típicos de estos dos grupos extremos de respuestas:

1.1.1 (Ep-Cc-Sn)

Debido a la reproducción sexual (o gamética) los hijos tienen las características de ambos padres, sin ser idénticos a ellos, ocasionando que esas combinaciones den resultado características mezcladas o diferenciadas o que por mutaciones se expresen formas diferentes que algunas veces se salgan del patrón. Estas diferencias pueden ser seleccionadas en contra o a favor, dependiendo de las condiciones medio ambientales que estén en ese momento. Por lo que posiblemente aquellos organismos que nacieron con una patas modificadas, resultaron más hidrodinámicas y fueron más exitosas para permanecer en el medio acuático, mientras que el resto de cuatro patas continuaron en el medio terrestre. Es decir, debido a la reproducción y sobrevivencia diferencial de los organismos pueden multiplicarse los eventos desde el punto de vista de la selección natural.

2.2.3 (Et-Ca-Ss)

Al delfin con el paso de muchos años y generaciones ya no le sirvieron las patas, necesitaba aletas y fue evolucionando. Todos los seres vivos pasamos por la evolución y selección natural, pudo haber pasado que en la tierra ya no había alimento, así que desarrolló (con el paso de las generaciones) aletas y el alimento lo consiguió en el mar. La naturaleza va seleccionando lo que le sirve al organismo para poder sobrevivir y lo que no necesita, ella misma lo quita. Todo en el proceso de evolución.

Al parecer, los tipos de Enfoque, Cambio y Selección, son escogidos por los estudiantes por su compatibilidad. Es decir, resulta difícil que un estudiante que tiene un enfoque poblacional, con lo que esto implica (variación entre los individuos) suponga que tal variación es ocasionada por presiones del medio (Cambio Abierto). A su vez, fueron escasas las respuestas en las que se consideró un enfoque tipológico (pensando en la población como un grupo de individuos con poca o nula diferencia del "tipo" de la misma), a la par de un cambio con origen genético (Cambio Cerrado).

De igual forma resultaron extrañas las respuestas en la que se consideró una combinación de Enfoque Poblacional-Cambio Cerrado, junto con No Selección, puesto que si el alumno concatena esta combinación, resulta altamente probable que relacione ésta con un proceso en el cual los organismos "luchan" tanto intra como interespecie por "dejar" mayor número de descendientes.

La errónea suposición de que los cambios no son azarosos, es decir Cambio Abierto, provoca que la sobrevivencia y muerte diferenciales se vean más como el resultado del proceso de selección, que como una parte del mismo.

En lo que se refiere a la Selección No Funcional, ésta fue utilizada tanto por el grupo de Enfoque Poblacional-Cambio Cerrado, como por el de Tipológico-Abierto, lo cual hace suponer que este tipo de selección encuadra medianamente con los dos razonamientos, o expresado de mejor manera, no rompe los esquemas de ninguno. Ejemplos tipos de estas respuestas son las siguientes:

1.1.2 (Ep-Cc-S-f)

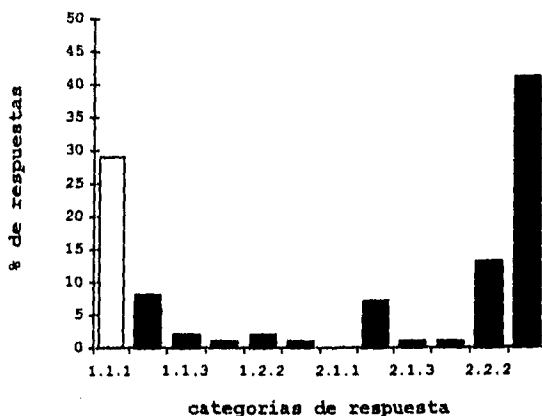
De entre la población de los ancestros hubo algún grupo de organismos que, por alguna mutación, presentaron un tejido interdigital que unía los dedos, lo cual representó una ventaja para este grupo, sobre los que no la presentaban, ya que su capacidad natatoria aumentó. Este carácter exitoso fue heredado a sus descendientes y por la forma de vida que presentaban se fue perfeccionando hasta convertirse en las aletas que ahora presentan.

2.2.2 (Et-Ca-S-f)

Lamarck menciona que existen caracteres hereditarios que se van adaptando a través del tiempo a determinadas presiones ambientales para una mejor eficiencia en dicho ambiente y debido a que en el ambiente acuático se requiere una mayor superficie en las extremidades se fueron adaptando en forma de aletas; atrofiándose la función de las patas para caminar y especializándose las patas o extremidades para nadar.

En cuanto a la caracterización general (véase Figura 8), se remarca la tendencia anteriormente descrita, ya que se forma dos grupos modales altamente discernibles:

Figura 8
Clasificación general de las respuestas
en porcentaje

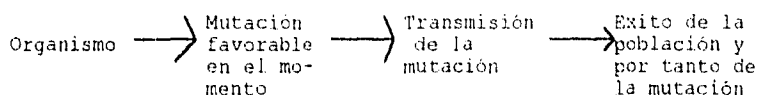


El primero formado por las combinaciones de Enfoque Poblacional-Cambio Cerrado, con las Selecciones Natural y No Funcional (35% del total); respuestas 1.1.1, 1.1.2, y 1.1.3. Ejemplo

1.1.1 (Ep-Cc-Sn)

El ancestro de los delfines, un animal parecido al perro, tenía hábitos costeros. El no podía alejarse mucho de la costa, quizá como los perros actuales, sabía nadar pero tenía forzosamente, que volver a tierra. Fue quizá por una mutación que algunos individuos les crecieron membranas entre los dedos, haciendo más eficiente su nado y con ello un éxito mayor en la búsqueda y captura de su alimento. Por lo que estos "mutantes" sobrevivieron y su nueva característica la heredaron hasta que se multiplicaron estos animales cuadrípedos con membranas interdigitales que les permitió nadar mejor.

Así como la "adquisición" de esta nueva estructura se pudieron haber dado los procesos de telescopización de apéndices, "adaptaciones" al buceo, etc. propios de los cetáceos. En resumidas cuentas es:



El segundo grupo modal se forma con la combinación de Tipológico-Abierto con las Selecciones No Funcional y No Selección (51% del total) respuestas 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3.

Ejemplo

2.2.3. (Et-Ca-Ss)

Bueno, con temor a caer en Lamarckismos, supongo lo que se supone del origen de todo mamífero marino. Al parecer, los mamíferos desplazados por una presión de la selección en cuanto a disponibilidad de alimento, recurrieron a los ambientes costeros para poder pescar. Con el paso del tiempo, las "patas de perro" más eficientes para el nado fueron siendo seleccionadas a su favor de igual forma que la capacidad de buceo. Esto continuó hasta que las patas se desarrollaron en aletas útiles para la natación.

Sin embargo, el 14% de los estudiantes presentaron una mezcla de ideas correctas e incorrectas, lo cual evidencia la carencia de esquemas de integración conceptual de dichos alumnos, pues si bien poseen nociones correctas del proceso, fueron incapaces de combinar tales ideas con las restantes.

Ejemplo

1.2.2 (Ep-Ca-S-f)

Para que esto se hubiera dado, tendría que haberse presentado cambios ambientales tan drásticos que obligaron a los supuestos ancestros a buscar otros hábitats; en este caso, el hábitat tendría que haber sido el mar, ante la dificultad de desplazamiento en el mar por falta de estructuras para la natación presentaron limitaciones; pero, es posible que algunos presentaran una habilidad para desplazamiento, lo que les daba ventajas sobre los otros organismos. Suponiendo que estas ventajas eran tan determinantes que sólo éstos y algunos que otros sobrevivían, los descendientes tendrían poco a poco que predominar con estas ventajas.

DISCUSIÓN

Como se puede observar, en los datos de la figura 8 que representan los agrupamientos generales de las respuestas, se distinguen claramente dos grupos extremos: el primero, representado por las respuestas tipo 1.1.1 (Enfoque Poblacional, Cambio Cerrado y Selección Natural) que reúnen los requisitos para ser consideradas como una "comprensión disciplinaria" correcta de la Teoría Darwiniana de la Selección Natural, esta comprensión la manifestó sólo un 27% de la muestra encuestada. El segundo, representado por las respuestas tipo 2.2.3 (Enfoque Tipológico, Cambio Abierto y No Selección), considerada como una franca "incomprensión disciplinaria" que alcanza más del 40% del total de respuestas.

Entre los dos grupos extremos anteriores, existen dos agrupamientos intermedios de respuestas, estrechamente vinculados a los dos grupos mayores: uno es el grupo de respuestas 1.1.2 (Enfoque Poblacional, Cambio Cerrado y Selección no Funcional), que representa el 8% del total de respuestas; al cual denominamos "comprensión disciplinaria incompleta" y que es parcialmente correcta. El otro es el grupo de respuestas 2.2.2 (Enfoque Tipológico, Cambio Abierto y Selección no Funcional), que representa un 12 % del total de respuestas, constituyen un manifiesto "malentendido" de la teoría de la selección natural, en sentido estricto son manifestaciones contrarias a la teoría Darwiniana.

En la figura 4 se pueden observar las tendencias de las cuatro clases de respuestas antes mencionadas, a lo largo de los ocho semestres del plan de estudios de la carrera de Biología Marina. La lectura de esta gráfica nos permite hacer las siguientes interpretaciones:

Primera, la "comprensión disciplinaria genuina", representada por las respuestas tipo 1.1.1, presenta un tendencia de aceleración positiva, a pesar del bajo porcentaje alcanzado por los alumnos de los semestres 4º y 5º, lo que significa un progresivo mejoramiento de la comprensión de los estudiantes, *a medida que adquieren mayor conocimiento y, sobre todo, son más capaces de articularlo.*

Sin embargo, es notable el hecho de que sólo en dos semestres, 7º y 9º, se logró rebasar el 50% de este tipo de respuestas. Aún en estos dos casos el porcentaje de "malentendidos" y "concepciones erróneas" es superior al 40%.

Segunda, inversamente, las comprensiones distorsionadas, representadas por las respuestas tipo 2.2.2 y 2.2.3, muestran una tendencia negativamente acelerada. Obviamente, esta tendencia es la contraparte de la anterior y es lo que razonablemente se esperaría de una enseñanza exitosa. Sin embargo, lo notable es la persistencia de este tipo de comprensión distorsionada que alcanza una cifra superior al 40% en los tres últimos semestres.

Tercera, ya se ha dicho que entre los dos agrupamientos mayores, que hemos denominado "comprensión disciplinaria genuina" y "comprensión distorsionada", hay dos grupos de respuestas que representan una "comprensión incompleta" (respuestas 1.1.2, Enfoque Poblacional, Cambio Cerrado y Selección No funcional) porque estos alumnos no logran relacionar los cambios en el "pool" de variantes de la especie con el éxito reproductivo y/o diferencias en la sobrevivencia. El otro grupo, representado por las respuestas tipo 2.1.1 (Enfoque Tipológico, Cambio Cerrado y Selección Natural) manifiesta una "comprensión sincrética" producto del solapamiento de una creencia en la homogeneidad de las especies, que desarrollan rasgos para adaptarse a los cambios del medio, con las nociones científicas de variación genética y éxito reproductivo de la especie.

Volviendo a nuestro punto de partida, es decir la fenomenografía del concepto de selección natural que pretende *entender cómo piensan los estudiantes acerca de lo que se les enseña y qué uso dan al conocimiento que aprendieron*. En este estudio, a lo largo de todos los semestres en activo del plan de estudios de la carrera de Biología Marina y no después de tan sólo un curso de Biología. Los datos obtenidos nos permiten confirmar que, de acuerdo con Marton (1991), los estudiantes universitarios encuestados, no generaron la misma proporción de interpretaciones de la selección natural que el tamaño de la muestra, ni el número equivalente a las posibles combinaciones (12) de los tres componentes (Enfoque, Cambio, Selección) del proceso evolutivo de las especies; generaron cuatro tipos de respuestas o interpretaciones del concepto de selección natural.

A estos cuatro tipos de respuestas las hemos denominado:

- I. Al grupo de respuestas que incluyeron los tres componentes básicos del esquema de selección natural Darwiniana (Enfoque poblacional, Cambio cerrado y Selección natural o 1.1.1) le denominamos "*Comprensión Disciplinaria Genuina*".

El esquema general de la selección natural Darwiniano (Darden, 1983) tiene la forma:

- (a) Dentro de la población de una especie, se genera un conjunto de variantes.
- (b) Dentro de ese conjunto, al azar opera la selección sobre un subconjunto de éstas.
- (c) Una vez que opera la selección, el pool de variantes es diferente.

2. Al grupo de respuestas que incluyó los componentes de Enfoque poblacional, Cambio cerrado y Selección no funcional (1.1.2) le llamamos "*Comprensión Disciplinaria Incompleta*" por que los estudiantes no han logrado una articulación completa del esquema general de la selección Darwiniana, al no ser capaces de ligar las tasas de sobrevivencia o de éxito reproductivo de las variantes genéticas que si comprenden.
3. Al grupo de respuestas que incluyó una combinación de creencias del "sentido común" con ideas científicas (Enfoque tipológico, Cambio cerrado y Selección natural) se le caracteriza como de "*Comprensión Sincrética*". Se le denomina así por que los estudiantes que generaron este tipo de respuestas hacen un traslape entre una creencia del sentido común "homogeneidad de la población y herencia de rasgos" y las ideas científicas de variación genética y éxito reproductivo.
4. Al grupo de respuestas que incluyeron componentes de un esquema no Darwiniano, Enfoque tipológico, Cambio abierto y no selección (2.2.3) o selección no funcional (2.2.2), que manifiestan un esquema, cognitivamente impenetrable, de creencias del sentido común, no disciplinarias, se le caracterizó como una "*Comprensión Distorsionada*".

En estas cuatro formas de comprensión del proceso de la selección natural existe un sentido de cambios conceptuales graduales entre los estudiantes, a medida que avanzan en el plan de estudios de la carrera, como lo indican las tendencias de la Figura 4. Esto indica, por un lado, que la comprensión disciplinaria genuina no es un proceso de todo o nada, sino que es gradual; y por otro, que existe una lógica interna en cada forma de comprensión.

Los cambios en el modo de interpretación que hacen los individuos de ciertos aspectos de la realidad, a menudo son similares a los ocurridos en periodos cruciales de descubrimientos científicos. Esto lo ilustra bien Gruber (1974), en su análisis sobre el desarrollo del pensamiento de Darwin que lo condujo a formular su teoría de la evolución.

Según Gruber, Darwin empezó con una noción estable, un orden armonioso, en el que todos los seres orgánicos se adaptaban a su ambiente físico, de la manera ordenada por el creador. Esta era una concepción estática, con especies homogéneas e incambiables que se adaptaban a su ambiente físico incambiable, esta forma de razonamiento es muy similar a la que manifestaron los estudiantes que respondieron con 2.2.3.

La noción de selección natural no era desconocida para Darwin, pero él la pensaba en un sentido de fuerza conservadora; como un seguro contra el cambio, un mecanismo para seleccionar a aquellos ejemplares menos adaptados a un medio incambiable. Sin embargo, cuando pudo aceptar los puntos de vista geológicos de su tiempo, de un orden en constante cambio en el mundo físico, su punto de vista original sufrió una contradicción: cada especie se adaptaba a su ambiente, éste, a su vez, sufría constantes cambios, entonces ¿cómo podrían mantenerse las especies incambiables?. Este razonamiento es equivalente al de los estudiantes que respondieron con 2.1.1 (Enfoque tipológico, Cambio abierto y Selección natural).

La anterior contradicción llevó a Darwin a la conclusión de que si las especies viven en un mundo cambiante, entonces, éstas también deben cambiar para permanecer en él. Este cambio en su pensamiento lo acompañaba en sus observaciones de la enorme variación dentro de las especies de las islas Galápagos. A esto se agregó su lectura del ensayo de Malthus sobre la población, con lo cual, según Gruber, Darwin se dio cuenta que la *...selección natural aunque podría actuar contra las variantes adaptativas, también podría hacerlo a favor de otras ocasionalmente mejor adaptadas que sus antepasados, a las condiciones predominantes en las que hubieron de sobrevivir.* (p.145- 146, versión en español).

A partir de ese momento, estaban dadas las condiciones para la formación del esquema básico de la Teoría de la Selección natural, al que ya nos referimos, que incluye el Enfoque poblacional, Cambio cerrado y Selección natural, es decir (I.1.1).

Las coincidencias anteriores las presentamos con el propósito de destacar la evolución de la comprensión del propio Darwin, cuyos cambios en su razonamiento iban de la mano con su estudio de los descubrimientos científicos de su época y sus propias observaciones de campo, a las que podemos llamar contexto de comprensión.

Los datos proporcionados por esta investigación nos han acercado a una comprensión sobre la lógica del entendimiento de los estudiantes, acerca de un concepto teórico clave, la selección natural, para su formación como biólogos. Como se ha argumentado, a partir de las respuestas de los estudiantes al problema planteado, hay cuatro tipos de comprensión de la selección natural, cada una de ellas "tiene sentido" para el estudiante, en función de su conocimiento previo, aún cuando sólo una de ellas reúne los requisitos de la teoría estándar de la selección natural y por ello se le puede considerar como una comprensión disciplinaria genuina.

Un hallazgo importante fue que la comprensión disciplinaria genuina es un proceso gradual, el cual mejora progresivamente, de los primeros a los últimos semestres de la carrera. Sin embargo, dicho mejoramiento no alcanza a consolidarse en la mayoría de los estudiantes de los últimos semestres. Aún cuando la presente investigación logró su propósito, hay una serie de factores que no se consideraron y que podrían ampliar nuestro conocimiento sobre el fenómeno de la comprensión disciplinaria, entre los que podemos mencionar:

- (1) El conocimiento previo de los estudiantes, que se podría indagar a través de un mapeo conceptual, nos permitirá hacer pronósticos sobre el probable desempeño de los estudiantes ante la solución de un problema como el aquí investigado.
- (2) Los promedios de calificación obtenidos por los estudiantes, para indagar su posible correlación con el tipo de comprensión alcanzado.
- (3) Los tipos de estrategias de aprendizaje utilizadas por los estudiantes y su posible correlación con los tipos de comprensión (Nisbet & Schucksmith, 1986); y finalmente,
- (4) Una variable relevante es la manera de formular los problemas a los estudiantes y los métodos que ellos utilizan para encontrar la solución. Desde nuestro punto de vista este es un factor crucial y que ha sido muy descuidado por los maestros, que se encuentra íntimamente vinculado con lo que conocemos como razonamiento formal; indispensable para el dominio del conocimiento altamente estructurado de las disciplinas científicas.

Evidentemente, se requerirá de más investigación para saber que hacen los estudiantes cuando enfrentan ciertos problemas, relevantes para la comprensión disciplinaria, en las asignaturas curriculares, qué tipo de razonamientos elaboran cuando buscan la solución, qué métodos de representación del conocimiento aplican, qué plansiguen hasta llegar a lo que ellos consideran como solución. Sin embargo, los educadores no permanecerán sentados a esperar los resultados de la investigación, ellos mismos pueden realizar su propia investigación sobre la comprensión disciplinaria que logran sus alumnos.

Provisionalmente, los educadores pueden disponer de un conjunto de alternativas o estrategias de enseñanza enfocadas hacia el cambio conceptual para la comprensión disciplinaria genuina. Estas alternativas provienen de lo que se conoce como ciencia cognitiva.

A lo largo de este trabajo hemos tratado de encontrar una explicación al fenómeno, aparentemente paradójico, de la lógica de los entendimientos de un concepto científico como la selección natural. Asimismo, hemos propuesto un modelo de cambio conceptual, como base para superar las "fallas" en la comprensión disciplinaria.

En suma, los datos obtenidos sobre el proceso de comprensión del concepto de selección natural, que frecuentemente es "malentendido" aún después de su enseñanza, es que los estudiantes organizan el conocimiento disciplinario en una forma que les crea sentido a sí mismos, pero esta forma de comprensión espontánea puede tener fuertes diferencias con la versión científica aceptada. Además, puesto que las concepciones espontáneas tienen una "lógica" para el sujeto, frecuentemente son muy resistentes al cambio. Es por esto que, desde la perspectiva de los estudiantes sus explicaciones intuitivas son correctas.

Los resultados obtenidos indican la necesidad imperiosa de realizar una revisión a fondo de: la estructura curricular; de la estructura de los programas de estudio de las asignaturas disciplinarias; de los tipos de representación del conocimiento disciplinario utilizados por los maestros; de los tipos de razonamiento que, consciente o inconscientemente, fomentan los maestros en el aula; de los métodos de evaluación del aprendizaje disciplinario que practican; de los conocimientos previos de que disponen los estudiantes; del tipo de interrogantes epistemológicas que los docentes plantean a los estudiantes - cuando lo hacen -; de las creencias y expectativas que sobre la ciencia y la investigación científica tienen los estudiantes.

La investigación sobre el aprendizaje académico de los estudiantes, desde bachillerato hasta la universidad, indica que la mayoría de ellos desarrolla un enfoque superficial del aprendizaje, que se caracteriza por la memorización de la información disciplinaria, con escasa elaboración de sus respectivas representaciones, o de métodos que les permitan recuperar, relacionar, y usar la información para encontrar la solución a un problema (Meyer, Parsosns & Dunne, 1990).

Los estudiantes que usan un enfoque superficial del aprendizaje no buscan el significado del problema que enfrentan y, por lo mismo, no logran una comprensión genuina de la teoría que se les ha enseñado. El enfoque superficial del aprendizaje es consistente con el "modelo de aprendizaje para la adquisición del conocimiento" que les ha permitido sobrevivir en el mundo escolar; que los ha llevado a suponer que el aprendizaje académico o disciplinario consiste en la acumulación de diversas cantidades específicas de información, por cada asignatura que cursan, año tras año y grado tras grado, ellos no tienen porque invertir un esfuerzo mental adicional para relacionar e integrar la información en representaciones significativas, como lo demandan los criterios teóricos y metodológicos de la disciplina que estudian.

Para ayudar a los estudiantes a desarrollar los procesos de pensamiento considerados como apropiados para la comprensión disciplinaria genuina, es necesario construir un marco conceptual del aprendizaje que los conduzca de la simple adquisición de información a su reelaboración, para posteriormente utilizarla en la solución de problemas y eventualmente para que ellos puedan producir nueva información.

Entendemos como procesos de pensamiento a los procesos de conceptualización, análisis y razonamiento. El marco conceptual del aprendizaje podría esperarse que varíe entre las distintas disciplinas académicas; en virtud de que hay variaciones en las estructuras de conocimiento, métodos y procesos de razonamiento que cada una de ellas utiliza. Los dominios de aprendizaje, asignaturas o disciplinas se diferencian según los principios, estructuras de conocimiento y metodología que se emplean en cada dominio (Donald, 1986), de modo que para entender cómo funciona una disciplina, es necesario aprender sus principios, estructura teórica y métodos de investigación y producción de conocimiento; esto, a su vez, requiere de una vinculación entre el conocimiento disciplinario y los procesos de pensamiento.

Las disciplinas han desarrollado sus propios modelos o formas de describir sus metodologías y procesos de razonamiento. Comúnmente, en humanidades se utilizan la hermenéutica, el método crítico, el análisis literario, etcétera. En las ciencias naturales se privilegia el uso del método experimental y el razonamiento hipotético - deductivo para la investigación y la construcción teórica. El profesor debe tomar en consideración estos aspectos cuando se propone diseñar la estrategia pedagógica apropiada, para ayudar a los estudiantes a desarrollar los procesos de pensamiento adecuados a las características de la disciplina que va a enseñar.

Un prerrequisito para el cambio conceptual es buscar una correspondencia entre la estructura cognitiva de los estudiantes, la estructura de la asignatura o disciplina y la estructura del curriculum. En relación con la primera, ya se han mencionado sus diferencias y semejanzas, y cómo reducirlas primeras e incrementar las segundas, cuando tratamos la comparación entre cognición cotidiana y cognición científica propuesta por Reif y Larkin (1991).

Con relación a la estructura de las disciplinas o estructura de los contenidos disciplinarios, Donald (1987) sostiene que puede entenderse como una base de conocimientos, generalmente aceptada por la comunidad científica que la practica. En tanto que, de acuerdo con la misma autora, la estructura curricular es una organización de conjuntos de conocimientos disciplinarios, en una secuencia determinada que conduce hacia el aprendizaje de las representaciones y métodos de adquisición y producción de los conocimientos característicos del dominio de que se trate.

De acuerdo con Donald, las disciplinas académicas tienen diversos grados de estructuración; dentro de un continuo, se propone a las ciencias naturales como disciplinas con una fuerte estructuración, debido a que son disciplinas paradigmáticas, con un lenguaje de causalidad funcional que admite poca polisemia. En el extremo opuesto, se coloca a las artes, como disciplinas débilmente estructuradas, por su naturaleza pluriparadigmática y la existencia de un lenguaje polisémico. En el punto medio, la autora coloca a las ciencias sociales, más cercanas a las ciencias naturales, por su rigor metodológico y sus esfuerzos de teorización sistemática, aún cuando su objeto de estudio mantiene su carácter pluriparadigmático y cierto grado de polisemia en su lenguaje teórico.

Según Donald (1992), un modelo de pensamiento muy común, entre las humanidades y campos aledaños, es el llamado pensamiento crítico, desarrollado dentro de la tradición Socrática de la investigación humanista. Entre los indicadores de valoración del pensamiento crítico, encontramos a los procesos de inferencia, de razonamiento proposicional, de deducción, interpretación y evaluación de los argumentos.

Esta investigadora realizó un interesante estudio para indagar la posibilidad de que ciertos procesos de pensamiento fuesen comunes entre diferentes disciplinas: de estructuración fuerte, física e ingeniería; de estructuración media, psicología y educación; de estructuración débil, lengua y literatura inglesa.

Para encontrar respuesta a su interrogante, ella desarrolló un modelo de trabajo compuesto por un conjunto de definiciones de procesos de pensamiento, que eran considerados como parte de aquellas disciplinas. Entre los criterios que consideró para las definiciones encontramos los siguientes: (1) que cubrieran los procesos de pensamiento considerados como relevantes para los diferentes dominios del conocimiento; (2) que estos fueran consistentes con respecto a conductas observables específicas u operaciones características de las disciplinas en cuestión. Ella entrevistó a seis expertos en cada uno de estos dominios disciplinares, como resultado, obtuvo una lista de treinta definiciones, distribuidas en seis grupos de procesos de pensamiento: descripción, selección, representación, inferencia, síntesis y verificación.

Entre los hallazgos interesantes, del estudio de Donald, encontramos que las diferencias importantes entre las seis disciplinas estudiadas, es el énfasis que cada una asigna a ciertos procesos de pensamiento. En ingeniería, se valoran los procesos de selección y representación para la solución de problemas, y la síntesis y verificación, cuando se trata de la actividad de diseño. En la física, la descripción y la representación son fundamentales para la solución de problemas. En la psicología, la descripción y la representación son considerados muy importantes para los cursos introductorios, pero en los cursos avanzados se sobrevalora la selección y la síntesis; igualmente, se valora alto a la inferencia y la verificación en los cursos intermedios sobre metodología. En los cursos iniciales de lengua y literatura inglesa, se enfatizan los procesos de pensamiento que van de la descripción demostrativa a la verificación y de nuevo a la descripción; en un segundo paso se da prioridad a la inferencia - construcción de hipótesis y verificación de las mismas. Finalmente, en los semestres avanzados se valora el análisis cuidadoso y el desarrollo lógico de la argumentación.

Lo que parece quedar claro es que si esperamos que los estudiantes alcancen una comprensión disciplinaria genuina, a través del cambio conceptual que los lleve de las comprensiones parciales y fenoménicas del mundo hacia las explicaciones científicas aceptadas, que ofrecen las distintas disciplinas académicas, será necesario realizar importantes cambios entre los tres de estructuración del conocimiento: del estudiante como individuo, de la estructura del contenido disciplinario y de la estructura y funcionamiento del currículum.

En el presente trabajo se ha enfatizado un aspecto del problema, la cognición del estudiante, en relación a un problema específico "la comprensión del concepto de selección natural en estudiantes universitarios", dentro de una disciplina de estructuración fuerte como lo es la biología. El valor de este trabajo reside en el hecho de que se ha planteado una propuesta metodológica fructífera para indagar la clase de categorización que realizan los estudiantes acerca de un fenómeno que reiteradamente se les ha enseñado, a lo largo de varios semestres de una licenciatura universitaria. La información generada por esta metodología es útil como retroalimentación, tanto para los estudiantes como para los profesores, respecto a los resultados de aprendizaje que se están produciendo con el currículum vigente.

No hemos abundado sobre otros aspectos que contribuyen al estado actual de los resultados de aprendizaje deficitarios, en términos de comprensión disciplinaria genuina de los estudiantes, es decir; la influencia del conocimiento disciplinario del propio profesor, de sus creencias, expectativas, intenciones y acciones en el aula; la epistemología de las teorías de la enseñanza y el aprendizaje, en las que se sustenta el currículum; el enfoque y clima evaluativos del aula (Title, 1994). Otros enfoques metodológicos han contribuido al esclarecimiento de la influencia de estos factores sobre los resultados de aprendizaje que generan las escuelas de nuestro tiempo, entre los cuales podemos mencionar los estudios etnográficos y cualitativos del aula (Erickson, 1986), y la investigación sobre la cognición situada o socialmente compartida (Resnick, Levine, & Teasley, 1991).

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, C. A., & SMITH, E. (1986). Teaching science. En V. Koehler (Ed.), *The educator's Handbook: A research perspective*. New York, Longman.
- BROWER, J. E. & J. H. ZAR (1981). *Field and laboratory methods for general ecology*. New York, Wm.C.Brown Co. Publisher, p.194.
- BURBULES, N. C., & LINN, M. C. (1988). Response to contradiction: Scientific reasoning during adolescence. *Journal of Educational Psychology*, 80, 67-75.
- BURNS, J., CLIFT, J., and DUNCAN, J. (1991). Understanding of Understanding: Implications for Learning and Teaching. *The British Journal of Educational Psychology*. 66 (3) p.276-289.
- CAREY, S., (1986): Cognitive Science and Science Education. *American Psychologist*, 41 (10) p.1123-1130.
- CAREY, S., and SMITH, C. (1993). On Understanding the Nature of Scientific Knowledge. *Educational Psychologist*, 28 (3) p.235-251.
- CAREY, S., EVANS, R., HONDA, M., JAY, E., & UNGER, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11, 514-529.
- CHAMPAGNE, A. (1988). *A psychological model for science education*. Artículo presentado en la Conferencia de la American Educational Research Association. New Orleans.
- CHI, M. T. H., & BASSOK, M. (1989). Learning from examples via self-explanations. En L. B. Resnick (Ed.) *Knowing, Learning, and Instruction: Essays in honor of Robert Glaser*.(pp.251-258)
- CHINN, A. C, and BREWER, F. W. (1993) The role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. *Review of Educational Research*, 63 (1), p.1-49
- CROCKER, J., FISKE, S. T., & TAYLOR, S. E., (1984). schematic bases of belief change. En J. R. Eisner (Ed.). *Attitudinal judgment*, New York, Spring Verlag. (p.197-226).
- DRAKE, S. (1980). Galileo. New York: Hill and Wang.

- DANIEL, W. W (1993). *Bioestadística, bases para el análisis de las ciencias de la salud*. México, LIMUSA 9ª reimpresión.,
- DARDEN, L (1983): Artificial Intelligence and philosophy of science: reasoning by analogy in theory construction. Citado por Paul Thagard (1988): *Computational Philosophy of Science*. Cambridge, The MIT Press, p.41.
- DOBZHANSKY, D. AYALA, F. STEBBINS, G. & VALENTINE, J. (1980). *Evolución*. Madrid, Editorial OMEGA.
- DONALD, G. J. (1986). Knowledge and the University curriculum. *Higher Education*, 15, (3), 267- 282.
- DONALD, G. J. (1987). Learning schemata: methods of representing cognitive, content, and curriculum structures in higher education. *Instructional Science*, 18, 187-211.
- DONALD, G. J. (1992). The development of thinking process in postsecondary education: Application of a working model. *Higher Education*, 24, 413- 430.
- DOYLE, W. (1983). Academic Work. *Review of Educational Research*, 53(2), p.159-199.
- DUIT, R. (1991). On the role of analogies and metaphores in learning science. *Science Education*, 75, p. 649-672.
- DUSCHL, A. R., and GITOMER, H. D. (1991) Epistemological Perspectives on Conceptual Change : Implications for Educational Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), p.839-858.
- EASLEY, J. (1990). Stressing dialogic skill. En E. Duckworth, J. Easley, D. Hawkins, & A. Enriques (Eds.). *Science education : A minds- on approach for the elementary years*. (pags. 61-95). Hillsdale, New Jersey: Earlbaum.
- ERICKSON, F. (1986). Métodos cualitativos de investigación sobre la enseñanza. En M. C. Wittrock: *La investigación sobre la enseñanza, vol.II*. Barcelona, Editorial Paidós, pags. 196- 301.
- FINLEY, F. (1983). Scientific process. *Journal of Research in Science Teaching*, 26, 47-54.
- FISHER, K. M., and LIPSON, I. J. (1986): "Twenty questions about students errors". *Journal of Research in Science Education*, 23 (9), p. 783-803.
- FUTUYMA, D. (1986). *Evolutionary Biology*. Massachusetts, Sinauer Assoc. Sandelland.

- GARDNER, H. (1991) *The unschooled mind. How children think and how schools should teach.* New York, Basic Books, Division of Harper Collins Publishers. Traducción al español (1993): "*La mente no escolarizada: Cómo piensan los niños y cómo debería enseñar la escuela*". Barcelona, Editorial Paidós,
- GIBSON, B.S. (1985). The convergence of Kuhn and cognitive psychology. *New Ideas in Psychology*, 3, 211-221.
- GIERE, R. (1988). *Explaining science: A cognitive approach.* Chicago, University of Chicago Press.
- GOODWIN, C., & HERITAGE, J. (1990). Conversation Analysis. *Annual Review of Anthropology*, 19, p. 283-307.
- GREENE, E. D. (1990). The logic of University Student's misunderstanding of natural Selection. *Journal of Research in Science of Teaching*, 27 (9) p.875-885.
- GRUBER, H. E. (1974): *DARWIN ON MAN: A Psychological Study of Scientific Creativity.* New York, Dutton. Traducción española (1984). *Darwin, sobre el hombre: Un estudio psicológico de la creatividad.* Madrid, Alianza Universidad.
- HEWSON, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European Journal of Science Education*, 3, 383- 396.
- HEWSON, M. G., & HEWSON, P.W. (1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 731- 743.
- JOHANSSON, B., & LYBECK, L. (1978). Razonamiento con proposiciones y razonamiento proposicional. Citado por Marton (1981).
- KALLÓS, D., & LUNDGREN, U. P. (1975). Educational Psychology: Its scope and limits. *British Journal of Educational Psychology*, 45, 111- 121.
- KLAHR, D., DUNBAR, F., & FAY, A. L. (1990). Designing good experiments to test bad hypotheses. En J. Shrager & P. Landgley (Eds.) *Computational Models of scientific discovery and theory formation.* California, Morgan Kaufmann, (p.355-402).
- KUHN, T. S. (1962). *The Structure of scientific revolutions.* Chicago, University of Chicago Press. Traducción española : *Estructura de las revoluciones científicas.* México, Fondo de Cultura Económica. 1971.

- KUHN, T. S. (1970). *The Structure of scientific revolutions* Chicago, (2nd ed.). University of Chicago Press.
- KUHN, D., AMSHEL, E., & O'LOUGHLIN, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Florida, Academic Press.
- KUNDA, Z. (1987). Motivated inference: Self-servig generation and evaluation of causal theories. *Journal of Personality and Social Psychology*, 53, p.636-647.
- LAKATOS, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. En I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.). *Criticism and the growth of knowledge*. Berkeley, University of California Press. Traducción española (1975). *La critica y el desarrollo del conocimiento*. Barcelona, Editorial Grijalbo.
- LAUDAN, L. (1977). *Progress and its Problems: Toward a theory of scientific growth*. Berkeley, University of California Press.
- LAUDAN, L. (1984). *Science and values: The aims of science and their role in scientific debate*. Berkeley, University of California Press.
- LAWSON, A. E. & WORSNOP. W. A. (1992). Learning about of evolution and rejecting a belief in special creation: effects of reasoning skill, prior knowlwdge, prior belief and religious commitment. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 143-166.
- MARTON, FERENCE. (1981). Phenomenography: Describing Conceptions of the World Around Us. *Instructional Science*, 10, 177-200.
- MARTON, FERENCE (1989). Towards a Pedagogy of Content. *Educational Psychologist*, 24 (1), 1-23.
- MARTON, FERENCE (1990) The Phenomenography of Learning: *A qualitative Approach to Educational Research and some of its implications for didactics*. En H. Mandl, E. De Corte, S. N. Bennett & H.F. Friedrich. (Eds): **LEARNING & INSTRUCTION: European Research in an International Context**. vol.2:1 Social and Cognitive Aspects of Learning & Instruction. London, Pergamon Press, p.601-616.
- MEYER, J., PARSONS, P., & DUNNE, T. (1990). Individual study orchestrations and their association with learning outcomes. *Higher Education*, 20, 67- 89
- NISBET, J., & SHUCKSMITH, J. (1986). *Estrategias de Aprendizaje*. México, Editorial Santillana.

- NOVAK, J., & GOWIN, R. (1984). *Learning how to learn*. Cambridge, Cambridge University Press. Traducción española (1988). *Aprendiendo a aprender*. Madrid, Ediciones Martínez Roca.
- NUSSBAUM, J., & NOVICK, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 11, 183-200.
- OSBORNE, R. J., & WITTRICK, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67, 489-508.
- PEA, D. R. (1993) Learning Scientific Concepts Through Material and Social Activities: *Conversational Analysis Meets Conceptual Change*. *Educational Psychologist*. 28 (3), p. 265-277.
- PINTRICH, P. R., MARX, R. W., & BOYLE, R. A. (1993) Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*. 63 (2), p.167-199.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W., & GERTZOG, W. A. (1982). Acomodation of a scientific conception: Toward of a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, p.211-227.
- REIF, F. & LARKIN, J. L. (1991). Cognition in Scientific and Everyday Domains: Comparison and Learning Implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), p. 733-760.
- RESNICK, L. (1983). Mathematics and science learning: A new conception. *Science*, 220, 477-478.
- RESNICK, B. L., LEVINE, M. J., & TEASLEY, D. S. (1991). *Perspectives on Socially Shared Cognition*. Washington, D. C, American Psychological Association.
- ROTH, K. (1989). Science Education: It's not enough to "Do" or "Relate". *American Educator*. Winter, p.16-22 y 46-48.
- SCHAUBLE, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and Strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, p.31-57.
- SCHAUBLE, L., GLASER, R., RAGHABAN, K., & REINER, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific rasoning. *Journal of the Learning Sciences*, 1, 201-238.
- SCHEGLOFF, E. D. (1992). Conversation Analysis and Socially Share Cognition. En L. Resnick., J. M. Levin & S. N. Teasley (Eds.). Op. cit. pp.150-171.

- SIEGEL, S. (1970). *Estadística No Paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta*. México, Editorial Trillas.
- SKINNER, B. F. (1969). *Contingencies of Reinforcement*. New Jersey, Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, pags. 190- 191.
- STRIKE, K. A., & POSNER, G. J. (1985). A conceptual change view of learning and understanding. En L. H. T. West & A. L. Pines (Eds). *Cognitive structure and conceptual change* (p. 211-231). New York, Academic Press.
- SWANN, W. B., PELHAM, B. W., CHIDESTER, T. R. (1988). Change through paradox: Using self-verification to alter beliefs. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54, 268-273.
- THAGARD, P. (1992). *Conceptual Revolutions*. New Jersey, Princeton University Press.
- TITLE, K. C. (1994). Toward an Educational Psychology of Assessment for Teaching and Learning: Theories, Contexts, and Validation Arguments. *Educational Psychologist*, 29 (3), 149- 273.
- VOSNIADOU, S. and BREWER, F. W. (1987). Theories of Knowledge Restructuring in Development. *Review of Educational Research*, 57, p. 51-67.
- WHITT, L. A. (1989). Conceptual dimensions of theory appraisal. *Studies in History and Philosophy of Science*. 19, 517-529.
- WEST, L., & PINES, A. (Eds.) (1985). *Cognitive Structure and Conceptual Change*. New York, Academic Press.
- WITTGENSTEIN, L (1953). *Philosophical Investigations*. ed. por G. E. M. Anscombe, G. H. von Wright, and R. Rees, Oxford. Traducción al español del Instituto de Investigaciones Filosóficas. Universidad Nacional Autónoma de México (1986). *Investigaciones Filosóficas*. México, UNAM.
- WU, C., & SHAFFER, D. R. (1987). Susceptibility to persuasive appeals as a function of source credibility and prior experience with the attitude object. *Journal of Personality and Social Psychology*, 52, 677-688.
- ZIETSMAN, A. I., & HEWSON, P. W. (1986). Effect of instruction using microcomputer simulations and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 23, p.27-39.