

0038124



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**CONSTRUCCION DE UN MODELO DE  
ENSEÑANZA PARA BIOLOGIA**

**T E S I S**

Que para obtener el grado Académico de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
( B I O L O G I A )**

**P r e s e n t a:**

**FEDRO CARLOS GUILLEN RODRIGUEZ**

Director de Tesis: Dr. Miguel Angel Campos Hernández

Codirectora: Dra. Ana Rosa Berhona Echeverría

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## ABSTRACT

We analyzed theoretical, empirical and cognitive lines in order to provide a curricular proposal for biology teaching in Mexican secondary school. This analysis shows the necessity of integrate the most global concepts, like biological evolution, in the early grades of secondary, also the necessity of provide the teachers with explicit materials and assume that a crucial aspect in learning is the recognition of the preconceptions of student. In this context we offer a curricular proposal -that is the axis line of this thesis- trying to answer some questions (what for teaching biology?: which contents teach?: how teach the contents?: when teach each content? and what, when and how evaluate the process?).

Also, we developed a field study in a private school of Mexico City. We offered two questionnaires to secondary and high school students (N= 214) in order to try to determinate the evolution concepts they have. In seventh grade we teach the evolution theme in accordance of the recommendations of this work, later we applied again the same questionnaires; the performance of seventh graders was significance better. This result suggest some validation of the curricular proposal, but its conclusions are limited of this particular school.

**Para: María, Fedro y Georgina**

## Índice

### Resumen

<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>I FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA</b>	<b>10</b>
<b>1 El problema teórico</b>	<b>10</b>
1.1 La biología en el contexto científico	10
1.2 Esbozo histórico del desarrollo de la biología	14
1.3 Propiedades de la biología	18
1.4 Base conceptual de la biología	29
1.5 Métodos de la biología	34
1.6 Conclusiones del capítulo	37
<b>2 El problema empírico</b>	<b>38</b>
2.1 La enseñanza de la ciencia	38
2.1.1 Enseñanza de la biología en México	54
2.2 Propuesta oficial	57
2.2.1 El programa emergente de biología de primero de secundaria 1992-1993	64
2.3 Las diversas propuestas de enseñanza de la ciencia en el contexto mundial	76
2.3.1 Sugerencias para la reorganización del programa de biología de secundaria	97
2.4 Conclusiones del capítulo	108
<b>3 Condiciones psicopedagógicas</b>	<b>109</b>
3.1 La perspectiva didáctica en evolución	111
3.1.1 Los problemas en la enseñanza de la evolución	111
3.1.2 Las ideas de los niños sobre evolución	115
3.1.3 Sugerencias didácticas para el tema de evolución	122
3.2 Aprendizaje	130
3.2.1 Los trabajos de Vygotsky, Brunner y Piaget	130
3.3 Aprendizaje Significativo	138
3.3.1 Constructivismo	146
3.3.2 Aprendizaje como cambio conceptual	148
3.3.3 Las ideas previas	150
3.4 Instrumentos de análisis: los mapas conceptuales	156
3.5 Conclusiones del capítulo	158

## **II LA PROPUESTA CURRICULAR**

<b>4 La reforma educativa: el nuevo programa de biología de secundaria 1993-1994</b>	<b>159</b>
--	------------

## **III TRABAJO DE CAMPO**

<b>5 Planteamiento del problema e hipótesis del trabajo de campo</b>	<b>190</b>
--	------------

<b>6 Métodos</b>	<b>193</b>
------------------	------------

<b>6.1 Muestra</b>	<b>193</b>
--------------------	------------

<b>6.2 El libro de texto</b>	<b>194</b>
------------------------------	------------

<b>6.3 Trabajo de campo</b>	<b>202</b>
-----------------------------	------------

<b>6.3.1 Prueba piloto</b>	<b>202</b>
----------------------------	------------

<b>6.3.2 Resultados de la prueba piloto</b>	<b>205</b>
---	------------

<b>6.3.3 Criterios de análisis</b>	<b>207</b>
------------------------------------	------------

<b>6.3.4 Examen conceptual</b>	<b>212</b>
--------------------------------	------------

<b>6.4 Réplicas</b>	<b>214</b>
---------------------	------------

<b>7 Resultados del trabajo de campo</b>	<b>216</b>
--	------------

<b>7.1 Respuestas que ejemplifican cada categoría (examen argumentativo)</b>	<b>216</b>
--	------------

<b>7.1.1 Respuestas que ejemplifican cada uno de los criterios utilizados (examen conceptual)</b>	<b>220</b>
---	------------

<b>7.2 Resultados del examen argumentativo por pregunta y por nivel</b>	<b>222</b>
---	------------

<b>7.2.1 Examen argumentativo total</b>	<b>230</b>
---	------------

<b>7.2.2 Comparación en 1B de secundaria: Fase I vs Fase II (examen argumentativo)</b>	<b>231</b>
--	------------

<b>7.3 Resultados del examen conceptual por pregunta para todos los niveles</b>	<b>233</b>
---	------------

<b>7.3.1 Examen conceptual total</b>	<b>236</b>
--------------------------------------	------------

<b>7.3.2 Comparación en 1A y 1B de secundaria: Fase I y Fase II (examen conceptual)</b>	<b>237</b>
---	------------

<b>7.4 Análisis de resultados</b>	<b>240</b>
-----------------------------------	------------

<b>IV CONSIDERACIONES FINALES</b>	<b>252</b>
-----------------------------------	------------

## **V FUENTES**

### **Referencias**

**Apéndice 1:** Tablas y figuras

**Apéndice 2:** Programa de biología para primer grado (1992-1993)

**Apéndice 3:** Programa de biología para primero y segundo grados (1993-1994)

## RESUMEN

Se analizan en este trabajo líneas teóricas, empíricas y de aprendizaje con el fin de ofrecer una propuesta curricular para la enseñanza de la biología en la secundaria mexicana. Este análisis permite reconocer la necesidad de integrar organizadores avanzados como la evolución biológica en la propuesta temática, dotar de materiales explícitos a los maestros y asumir que uno de los aspectos cruciales para toda propuesta de aprendizaje es el reconocimiento de las ideas del que aprende. Con base en esto se ofrece una propuesta curricular que constituye el eje de esta tesis y que responde a diversas preguntas (¿para qué enseñar?: ¿qué enseñar?: ¿cómo enseñar?: ¿cuándo enseñar? y ¿qué, cómo y cuándo evaluar?).

Asimismo, se realizó un trabajo de campo en una escuela privada de la ciudad de México, analizando, a través de dos cuestionarios, el conocimiento que estudiantes de secundaria y CCH (N=214) tenían sobre el tema de la evolución. En el caso de los alumnos de 1° de secundaria se explicó el tema de acuerdo a las recomendaciones de este trabajo y posteriormente se volvió a sondear su manejo del tema, resultando este significativamente mejor. El resultado parece confirmar uno de los supuestos de la propuesta curricular, aunque -dado su carácter de estudio de caso- no se considera una validación de campo de la propuesta.

## **INTRODUCCIÓN**

Uno de los retos más importantes que enfrenta el sistema educativo nacional -particularmente en la escuela básica- es el de desarrollar propuestas de enseñanza que tengan su base en la consideración fundamentada de principios epistemológicos y de aprendizaje. En el caso de la secundaria mexicana, la ausencia de estos criterios (o en el mejor de los casos la fragmentación de éstos) ha sido notoria y los indicadores de la pobreza de sus resultados ya han sido documentados ampliamente: la confusión entre currículum y programa; la obsesión enciclopédica; la carencia de significatividad de los contenidos y la presencia de estrategias que no ponderan las características de las ideas del que aprende, son sólo algunos ejemplos que ilustran el problema.

Este trabajo pretende aportar elementos que enriquezcan la discusión sobre la enseñanza de la materia de biología que se imparte en la escuela secundaria. En ese sentido valdría la pena matizar el término *modelo*, presente en el título, ya que de ninguna manera se pretende sugerir que este trabajo sea necesariamente una pauta a seguir. En realidad este estudio no tiene una intención generalizante y definitiva que -por otro lado- sería pretenciosa, sino en cambio, debe interpretarse como una propuesta que se sume a la discusión teórica y metodológica sobre el tema.

Dos son los objetivos que este análisis ha pretendido alcanzar y que tienen niveles de importancia diferenciados; por un lado ofrecer una propuesta curricular fundamentada para la impartición de conocimiento biológico en la escuela secundaria, lo que constituye el cuerpo del trabajo, y por otro, realizar una investigación de campo específica que permita determinar si uno

de los supuestos de esta propuesta tiene sustento en el ámbito de una escuela privada en el Distrito Federal.

Cuando este trabajo se inició, el programa oficial del biología para secundaria no había sido reformado. Sin embargo, por una serie de condiciones, que no son pertinentes para la discusión en este espacio, la propuesta curricular que aquí se presenta, fue adoptada por la Secretaría de Educación Pública en el marco de la Reforma Curricular realizada en 1993. Ello supuso una ventaja ya que le brindó a este trabajo y a la investigación de campo un sustento formal en el que el análisis realizado se desarrolló en el contexto de programas oficiales adoptados por las instituciones escolares.

Con el fin de fundamentar esta propuesta, el trabajo se ha dividido en tres secciones con diversos capítulos; la primera sección **Fundamentación de la propuesta**, aborda consideraciones de orden teórico, práctico y de mecanismos de aprendizaje. El primer capítulo: **El problema teórico**, se centra en un análisis acerca de las propiedades del conocimiento biológico. Esta discusión es fundamental, ya que toda propuesta de aprendizaje debe tener una validación epistemológica y en muchos casos la ciencia y su conocimiento son presentados como un conjunto homogéneo de conceptos y metodologías compartidas indiscriminadamente. Las ideas que se presentan proponen la necesaria caracterización de la biología, así como un análisis de sus bases conceptuales y las preguntas que intenta responder. Esta caracterización no sólo es necesaria, sino indispensable para tener un fundamento teórico que respalde las ideas que sobre la enseñanza de esta disciplina se generan.

El segundo capítulo: **El problema empírico**, pretende ofrecer una visión acerca de las discusiones más recientes sobre la enseñanza de la ciencia y analiza la evolución que ha tenido la

enseñanza de la biología en particular en nuestro país. Asimismo, ofrece un análisis de las estrategias que otros países han adoptado para la enseñanza de las ciencias naturales cuyo propósito es brindar un contexto global para ubicar esta propuesta. Es en este apartado donde se analizan los principales problemas que ha enfrentado la enseñanza de la biología en la escuela secundaria, y con base en este análisis se presentan algunas propuestas de reorganización de los programas oficiales.

El capítulo tres: **Condiciones psicopedagógicas**, inicia con un presupuesto que se ha discutido ampliamente en los dos primeros capítulos: la teoría de la evolución se constituye como la base conceptual de la biología, y esta característica de concepto articulador debería determinar que las ideas evolutivas se incluyan al inicio del programa de estudios. Es por ello que se presentan con detalle las razones que justifican esta aseveración, así como los problemas que diversas investigaciones han encontrado en cuanto a la transmisión de ideas evolutivas en estudiantes del nivel. Se presentan, asimismo, una serie de sugerencias didácticas puntuales para impartir el tema en primero de secundaria que constituirán una de las bases del trabajo de investigación. Con el fin de discutir cuestiones de aprendizaje se exponen más adelante referentes necesarios que han contribuido a entender cómo operan los procesos de transmisión del conocimiento científico. Este trabajo comparte una visión constructivista del aprendizaje en el que se asume que éste ocurre cuando nuevos conceptos enlazan con una estructura conceptual ya existente; por ello se discuten las características de esta teoría y se analiza el papel que en todo el proceso juegan las ideas del que aprende. Por último, se discute el papel de los mapas conceptuales como una herramienta de análisis que, además de ser utilizada a lo largo de este

estudio para analizar algunas ideas, se sugiere como una estrategia didáctica muy poderosa en el contexto del aprendizaje entendido como un problema de modificación conceptual.

El trabajo pues, presenta en esta fase introductoria una serie de argumentaciones epistemológicas, cognitivas y empíricas que sustentan la base para presentar una nueva propuesta de currículum en la enseñanza de la biología en la escuela secundaria.

La segunda sección: **La propuesta curricular**, ofrece los criterios para desarrollar la nueva propuesta curricular con los argumentos que la sustentan y que se basan en las ideas discutidas previamente. Asimismo, se presentan la serie de contenidos para 1° y 2° grados de secundaria, la justificación de su secuencia, una serie específica de recomendaciones didácticas, algunos criterios para la evaluación y finalmente, las expectativas que se depositan en la enseñanza de la biología en este nivel educativo.

La tercera sección: el **Trabajo de campo** parte de la idea arriba mencionada acerca de la importancia de la inclusión temprana de conceptos evolutivos en el programa, se sometió a prueba la idea de que los conceptos evolutivos básicos, tal como están presentados en la propuesta que este trabajo ofrece y siguiendo las estrategias didácticas ya señaladas, tendrían un efecto consistente en el aumento de la comprensión de los estudiantes de primero de secundaria acerca de los procesos evolutivos, comparada con las ideas previas que ellos poseían. Asimismo, tratando de explorar la idea de varios autores en el sentido de que la comprensión sobre asuntos evolutivos es una función del desarrollo del estudiante, se analizó con un mismo instrumento la comprensión sobre procesos evolutivos en estudiantes de secundaria y bachillerato. Es importante aclarar que este estudio de caso, al realizarse en una sola escuela tiene una validez limitada y no pretende constituirse en un aval de la propuesta curricular como podría

**interpretarse. Por ello se presenta simplemente como una experiencia de investigación que sugiera claves para trabajos analíticos posteriores.**

**Un análisis bibliográfico acerca de la investigación realizada sobre estos temas parece sugerir que este trabajo es inédito en cuanto a su objetivo de presentar una propuesta curricular y poner a prueba uno de sus presupuestos. Por ello se considera que si algún valor se puede extraer de esta experiencia, es el de ofrecer a todos aquellos interesados en procesos de investigación educativa un documento que explica en detalle el camino seguido para el desarrollo de alternativas en la enseñanza de la biología en el nivel secundaria, campo en el que hay una enorme ausencia documental. Asimismo este trabajo pretende abrir (o continuar) una necesaria discusión acerca de los mecanismos y las consideraciones que deben tomarse en cuenta en las propuestas educativas que se desarrollan en el país.**

## **I. FUNDAMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **1. EL PROBLEMA TEÓRICO**

La ciencia experimental tiene una gran prerrogativa... investiga sus conclusiones por medio de la experiencia.

Roger Bacon (1210-1292)

Se discuten en este capítulo algunas de las implicaciones sociales del conocimiento biológico, así como un breve esbozo histórico de su desarrollo. Asimismo, se presentan, desde un enfoque antireduccionista, argumentos que permitan distinguir a la biología de otras ciencias naturales, analizando sus propiedades y las preguntas a las que se enfrenta; se hace énfasis en el papel preponderante de la teoría evolutiva como un concepto fundamental y articulador de la teoría biológica y se discuten algunas implicaciones metodológicas que cuestionan la idea de un método "único" para hacer ciencia.

#### **1.1 La biología en el contexto científico**

A mediados de 1992, el investigador Simon Le Vay realizó autopsias en los cadáveres de 21 homosexuales varones muertos de SIDA. Sus hallazgos crearon una enorme controversia en muy diversos medios; en todos los casos Le Vay encontró que una porción del hipotálamo (una zona del cerebro humano) era de la mitad del tamaño que la existente en varones heterosexuales y del mismo tamaño que la de las mujeres heterosexuales. Esta era una posible sugerencia de que la homosexualidad podía tener una base física (Bonfil, 1994). La polémica no se ha resuelto y parece muy lejana su solución, sin embargo, nos indica de qué manera un estudio biológico puede tener un efecto en el pensamiento de la sociedad.

La biología se encarga de desentrañar la enorme complejidad de los seres vivos y los sistemas que habitan. Éste, desde luego, es un campo que no puede aislarse de los procesos sociales. La revolución biotecnológica, por ejemplo, ha generado metodologías que transforman en estos momentos, aspectos tan fundamentales en el desarrollo del ser humano como el médico y el alimentario. Las fecundaciones extrauterinas, la clonación y en general, los procesos de ingeniería genética han invadido terrenos en los que se hace necesario discutir con amplitud acerca de consideraciones éticas y legales. El complejo problema ambiental se ha convertido en un asunto que rebasa completamente el ámbito académico y representa una de las preocupaciones más importantes de la llamada sociedad civil.

Sin embargo, frecuentemente se presenta a los hechos científicos como una colección de datos, hechos o avances, sin antecedentes contextualizadores que permitan comprenderlos. Debería resultar claro el relevante papel que juega el estudio de la historia del pensamiento científico para tratar de entender los procesos del desarrollo actual. La ciencia por su naturaleza de búsqueda de explicaciones puede ser entendida como un proceso que se transforma y reconstruye a medida que la historia del hombre se modifica; es pues, territorio fértil para todos aquellos que se interesan en comprender cómo las visiones se modifican de acuerdo a contextos sociales e históricos diferentes. En consecuencia, debería trascender el recuento anecdótico y enfocarse en los principales problemas científicos que el hombre ha resuelto a lo largo de su historia. Es muy importante entender cuáles fueron las aproximaciones para resolver estos problemas, de qué manera y en qué contexto se pudieron modificar las ideas de los hombres (Mayr, 1982).

La ciencia -junto con la filosofía- es la aproximación humana que procura una explicación sobre el origen y el significado del mundo, en contraste con las interpretaciones sobrenaturales. La ciencia es una posición, una forma de pensamiento, que a diferencia de la religión -que basa su construcción de lo que es verdadero en un cuerpo dogmático- ha generado una aproximación metodológica que se sustenta en el constante cuestionamiento sobre los procesos naturales. Es una propiedad científica la de tratar de identificar las relaciones de causalidad que se establecen entre los procesos naturales y una de sus obsesiones más frecuentes es la de explicar un fenómeno a través de la ubicación precisa de los elementos que lo provocaron y la manera en que éstos se integran. Otra característica propia de la ciencia es su capacidad de transformación. En contraste con los procesos religiosos que mantienen una visión del mundo generalmente estática y fija, la ciencia ha modificado diametralmente sus conceptos a medida que ha desarrollado y afinado sus metodologías Mayr (1982).

Tres son las características de la ciencia propuestas por Ayala (1968): 1) la ciencia procura generar explicaciones para la ocurrencia de eventos, 2) La ciencia se propone organizar el conocimiento de forma sistemática tratando de descubrir cuáles son las pautas de relación entre los fenómenos y procesos y 3) su método propone hipótesis que están sujetas a comprobación por lo que existe la probabilidad de rechazarlas. Ideas que hace cien años eran parte de un consenso científico, han perdido su valor explicativo y se conservan sólo como los pasos tempranos del desarrollo de una concepción determinada.

La filosofía de la ciencia se ha sustentado tradicionalmente en el empirismo lógico en el que la observación se generaliza en leyes que serán explicadas por teorías. Se suponía una relación deductiva entre las teorías y las leyes y una relación predictiva entre las teorías y los

niveles inferiores de construcción y partía de una visión abstracta y terminada de la ciencia, es decir la ciencia no se entendía como un proceso que se modifica históricamente. Actualmente esto ha cambiado: la filosofía de la ciencia reconoce que ésta tiene una naturaleza social que la valida y le da sentido, las posibilidades para solucionar un problema son diversas y modificables (en contraste con la idea de un método científico único) y se reconoce a la ciencia como un cuerpo de conocimientos en constante transformación formada por disciplinas interrelacionadas pero con características propias (Grenc, 1986).

En este contexto el presente trabajo pretende determinar cuales son las herramientas pertinentes para la transmisión de conocimiento biológico. Se propone caracterizar los procesos biológicos y determinar una propuesta curricular para la enseñanza de la biología en la escuela secundaria. Para ello, comencemos tratando de determinar cuáles son las características propias de la biología que la diferencian de otras disciplinas del conocimiento.

## **1.2 Esbozo histórico del desarrollo de la biología**

La historia de la biología puede dividirse en grandes etapas que marcan diferencias fundamentales; los primeros conocimientos que el hombre tuvo del medio provinieron de una necesidad práctica de alimento. Hace diez mil años el hombre inventó la agricultura y domesticó a los primeros animales. Este proceso que marcó un avance espectacular en el desarrollo de las sociedades humanas fue posible gracias a un antecedente de estudio de los fenómenos naturales que sentaba las bases de este avance. Los griegos fueron los primeros en sistematizar el conocimiento biológico en el siglo tercero antes de nuestra era. Fue Aristóteles quien propuso la existencia de diversas disciplinas biológicas. Él realizó clasificaciones de plantas y animales de acuerdo con criterios tales como la presencia o ausencia de sangre. Las ideas aristotélicas predominaron en el mundo occidental hasta el Renacimiento y lograron concretar un avance notable, ya que estructuraron una reflexión metódica que se convirtió en un mecanismo inherente a la ciencia (Bernal, 1981).

El Renacimiento europeo fue marcado por una nueva actitud ante la naturaleza que permitió el desarrollo de conocimientos de historia natural y anatomía muy importantes. El cuestionamiento a las ideas prevalecientes es sin duda el fruto más importante en el avance de la biología en esa época. El pensamiento religioso fue reemplazado por toda una estructura secular del conocimiento que permite a los científicos adquirir una nueva posición y salir del espacio anónimo o clandestino al que habían sido confinados (Bernal, 1981). En 1628 William Harvey publicó su teoría acerca del mecanismo de la circulación sanguínea que contradecía frontalmente al propuesto por Galeno quince siglos antes. Harvey desarrolló en su trabajo innovaciones experimentales como la cuantificación y las comprobaciones independientes. Esto y el poder

explicatorio de su teoría permitieron que su trabajo fuera aceptado. Estas características (poder explicatorio y comprobación a través de pruebas independientes) se convertirán en los paradigmas del cambio de una teoría científica (Mowry, 1985). En 1668 Francesco Redi, también siguiendo una metodología muy precisa, demostró que la teoría de la generación espontánea es falsa (Lazcano, 1988). Este par de ejemplos son una muestra de la manera en que el pensamiento científico de la época se modificó en oposición abierta a las ideas religiosas. La actitud renacentista se desarrolló en el contexto de una idea de "progreso" -entendido como una racionalización creciente de los procesos. La religión se vuelve una alternativa social y el paradigma de la racionalidad científico-tecnológica se erige como un modo dominante de comprender los procesos que nos rodean. La "cientificación" del mundo aún prevalece (Touraine, 1993).

Al inicio de la segunda mitad del siglo XIX y valiéndose de evidencias reunidas a lo largo de más de treinta años, Charles Darwin publicó su teoría del origen de las especies. Este hecho determinó una transformación explosiva en el análisis de los procesos biológicos y es considerado como el evento fundador de la biología moderna (Thompson, 1983). A través de una sencilla argumentación, Darwin logró explicar cómo se modificaban los seres vivos a lo largo del tiempo. La teoría darwiniana tuvo un impacto global en el desarrollo de la biología. Muchas materias y disciplinas que hasta entonces se habían encargado de generar un recuento anecdótico tuvieron por fin un marco estructural que les permitió poner a prueba diversas preguntas, siempre enmarcadas en la teoría evolutiva. Esto, desde luego tuvo un efecto positivo en la integración formal de varias disciplinas biológicas; la conducta animal y la ecología son sólo dos ejemplos conspicuos de este hecho.

La teoría de Darwin se complementó con el descubrimiento de los trabajos de Mendel y el avance de la genética y en el primer tercio del siglo XX se propuso la Síntesis Evolutiva en la que se daba una explicación de los mecanismos propuestos por Darwin utilizando argumentos genéticos y de la dinámica poblacional (Mayr, 1982).

Este siglo se ha caracterizado por el impresionante avance de varias disciplinas biológicas. En 1900, se redescubrieron los trabajos de Mendel y se fundó de manera formal la Genética. En 1953, se descubrió la estructura del ácido desoxiribonucleico, molécula encargada de regular los procesos hereditarios, lo que permitió desarrollar de manera importantísima la biología molecular (Gardner, 1980).

La Ecología (término acuñado por Haeckel a finales del siglo pasado) adquirió un papel muy relevante, debido a la proximidad entre sus estudios y el contexto en que la sociedad interactúa. Los más complejos procesos de transferencia de energía en los ecosistemas han sido modelados por los ecólogos y sus estudios se han convertido en un asunto prioritario. El deterioro ambiental, característico de nuestros tiempos, ha generado que los estudios de conservación adquieran fuerza y se conviertan en una de las disciplinas que, sin duda, se incorporará de manera protagónica en el espectro de las ciencias biológicas (Leff, 1990).

La biología juega un papel muy relevante en la vida de las sociedades industrializadas. Los alimentos, el vestido y las comunicaciones han sido moldeados en gran medida por el resultado de la investigación científica y sus aplicaciones. Por otro lado, el progreso de la ciencia podría asociarse también con el desarrollo de armamento, el incremento en la contaminación de ríos y mares y en general del deterioro ambiental.

Ante este panorama en el que se discuten los efectos de la actividad científica en la vida del hombre es necesario entender que las líneas que deben seguirse para analizar el desarrollo científico no son simples y requieren varias consideraciones; la ciencia no ha creado problemas sociales, quizá los ha agudizado. Aunque la ciencia se aboliera, los problemas continuarían. Es necesario entender que la búsqueda del conocimiento es inherente a la naturaleza humana, limitar esta necesidad, es limitar la esencia misma de la inteligencia del hombre. Se debe precisar además que el destino de los adelantos científicos debe resolverse en un contexto social y político, no científico (Brown y McIntyre, 1986).

### 1.3 Propiedades de la biología

**"Podemos esperar el día en que la biología  
como una ciencia autónoma se desvanecerá"**

M. Ruse

El hecho de que exista una extendida visión homogénea de la ciencia no implica, de ninguna manera, que todas las disciplinas conocidas como científicas compartan estrictamente las mismas metodologías. La biología es una ciencia en la que la observación, la comparación y la clasificación son herramientas fundamentales que pierden importancia en el contexto de otras disciplinas como la física. Bartley (1982), discute la diferencia existente entre la filosofía de la biología con respecto a la de la física. En su planteo nos habla de que la filosofía de la ciencia actualmente está determinada por los físicos y su visión de la física que se enfoca desde una perspectiva idealista en la que el sujeto de la ciencia es la percepción (v gr. no ve a una persona sino a un conjunto de información). Esta aproximación es incompatible con los procesos biológicos dadas sus características de variabilidad, emergencia y la necesidad de explicar un comportamiento o una adaptación en función del contexto. De esta manera la filosofía idónea para los estudios biológicos es el realismo, en el que se marca como elemento central el sentido común. Esta corriente de pensamiento fue adoptada por Lorenz, Popper, Mayr y Monod (Bartley, 1982).

Durante mucho tiempo la tendencia de los filósofos fue la de entender a la ciencia como un gran cuerpo único e indivisible en el que la física debería ser aceptada como un paradigma. La filosofía de la ciencia era en realidad la filosofía de la física. A partir del desarrollo de la teoría darwiniana y con el progreso de la biología como una ciencia independiente, un nuevo movimiento de unificación científica intentó reducir los procesos biológicos a su esencia física

(Mayr, 1986). Esta asimetría es producto del enorme desarrollo de la física durante el renacimiento, en contraste con la biología que permaneció sin avances significativos hasta el siglo XIX. De hecho los inicios de la biología como una ciencia formal recrearon un modelo físico para adaptarse a la inercia de este impulso (Mayr, 1986).

La biología es una ciencia que se desarrolló de manera primordial en el siglo XIX. Antes de esta fecha los estudios biológicos se encontraban formando parte de un conjunto de conocimientos de carácter anecdótico sin un cuerpo teórico que los validara. La descripción de plantas, por ejemplo se había desarrollado básicamente en busca de la utilización de sus propiedades curativas. En contraste, las ciencias físicas habían desarrollado un avance impresionante que había encontrado su momento culminante con los trabajos de Newton y los procesos gravitatorios que marcaron la revolución científica más importante de su tiempo (Cohen, 1981). Esto determinó que el análisis histórico de los procesos científicos se desarrollara básicamente en el contexto de las poderosas ciencias físicas.

Esta idea unificadora de las ciencias nació con la Ilustración, un movimiento originado en Inglaterra que marcaba la emancipación de ideas tradicionales y que alcanzó su máximo desarrollo en la Francia de fines del siglo XVII (Mayr 1982). Comte dentro de su propuesta positivista argumentó que la ciencia debería pasar por tres etapas a lo largo de su desarrollo histórico: la teológica, la metafísica y la positiva. Cada ciencia, según Comte, era el producto de un armazón previo construido por otras ciencias. De esta manera, la biología dependía de la química que a su vez dependía de la física (Smocovitis, 1992).

Las ideas de unicidad científica influyeron en los positivistas lógicos del círculo de Viena que encabezaron un movimiento de unificación de la ciencia, no bajo un principio de

interdependencia sino más bien utilizando un argumento reduccionista; las ciencias en general se podían reducir a sus términos físicos. Uno de los elementos que se consideraba esencial para lograr esta unificación, era la eliminación de cualquier influencia metafísica, es decir, se pretendía lograr una "axiomatización" de la ciencia. En el campo de la biología, el desprendimiento de sus elementos metafísicos como el vitalismo, desde luego era un proceso deseable. Sin embargo, en un afán por entender a la biología sólo desde un punto de vista físico se corría el riesgo de generar un reduccionismo biológico que explicara los procesos de la vida únicamente en términos físicos o químicos. Se hacía necesario, en consecuencia que la biología encontrara un lenguaje propio que le permitiera interpretar su objeto de estudio desde una óptica diferente a la que ofrecía la dupla vitalismo-mecanicismo (Smocovitis, 1992).

El esquema físico era clásico, determinístico, en donde casi todo obedecía a leyes universales y postulaba la explicación de la naturaleza en función de sus componentes esenciales. Esta idea determinó dos corrientes opuestas en el campo de la biología: la de los que aceptaron este enfoque y la que argumentó que un organismo tenía propiedades que lo distinguían de la materia inerte, llamada vitalista. Para la década de los treinta estaba claro que ninguna de las dos corrientes daba una explicación satisfactoria del problema. Una tercera aproximación se hizo necesaria, en orden de establecer todas las propiedades de los procesos biológico que los modelos físicos han ignorado históricamente.

En esta discusión resulta fundamental, en consecuencia, delimitar las propiedades que distinguen a los procesos biológicos del universo físico. Sigamos a Mayr (1982) que plantea con mucha claridad las diferencias entre los organismos y la materia inerte:

a) *La complejidad de los sistemas vivientes.*- Los seres vivos se caracterizan por poseer una organización notablemente compleja que les permite reaccionar ante diversos estímulos e intercambiar energía. Desde luego, la complejidad no es una característica privativa de los seres vivos; una galaxia es un sistema complejo. Sin embargo, existen diferencias cuantitativas. Los sistemas biológicos son, en varios órdenes de magnitud, más complejos que cualquier sistema no-biológico.

b) *La organización en poblaciones.*- En 1859 Darwin introdujo un concepto completamente novedoso: el de las poblaciones variables formados por individuos únicos y en consecuencia, diferentes entre sí. No existe ningún elemento en el mundo inerte que corresponda a las características de una población, en la que un conjunto de organismos presenta variabilidad en diversas características. Esta variabilidad es el sustrato sobre el que actúa la selección natural.

c) *El programa genético.*- Todos los organismos poseen un programa genético que ha evolucionado a través del tiempo y que se codifica en la estructura molecular del ADN. No existe nada comparable en el mundo inanimado (con la excepción de algunas máquinas construidas por el hombre). El programa genético es el producto de la historia y se remonta al origen de la vida y por lo tanto, incorpora las experiencias de los ancestros.

d) *Método experimental versus método comparativo.*- La experimentación ha sido el mecanismo tradicional de experimentación de las ciencias físicas. Algunos filósofos consideran inclusive que es el único método legítimo que debe emplear la ciencia. Sin embargo, la observación y la comparación han sido métodos extraordinariamente exitosos en algunas ciencias físicas como la astronomía. En biología estas aproximaciones metodológicas han tenido un papel preponderante en los repertorio de trabajo de muchas disciplinas.

El papel de los métodos comparativos y los experimentales en biología puede ser mejor entendido analizando los dos grandes campos de estudio biológico: aquel que estudia a las causas próximas en las que se consideran los aspectos funcionales de la biología y, el que estudia las causas últimas en las que se consideran aspectos de biología evolutiva. La pregunta que guía los estudios de causa próximas es ¿cómo? (¿Cómo funciona?, ¿Cómo se secreta esa hormona?) y la aproximación para resolver estas preguntas es generalmente experimental. En contraste, los estudios de causas últimas responden a la pregunta ¿por qué? (¿Por qué funciona de esa manera? ¿Por qué se secreta esa hormona?). La ruta para resolver esas preguntas ha sido generalmente la observación y la comparación. Desde luego ambas aproximaciones son importantes y necesarias, por lo que no se puede pensar en reconocer sólo alguna ruta metodológica.

e) *Leyes y teorías*.- La variabilidad del mundo biológico ha determinado que el concepto de ley (entendida como una regla universal) haya prácticamente desaparecido de la biología contemporánea. En las ciencias físicas es una condición axiomática que un proceso determinado se explica por leyes. En biología, en cambio, varias formas de explicación son frecuentes. Por ejemplo, una adaptación particular puede ser producida por muy diversas vías. Las teorías biológicas son generalizaciones de aplicación limitada y frecuentemente llenas de excepciones.

f) *Adaptación* (Pérez Tamayo, 1994).- El comportamiento adaptativo caracteriza a los seres vivos. Es común que gran parte de las acciones que realiza un organismo faciliten su sobrevivencia y su reproducción.

El campo de la biología hace un contacto mayor en el universo de significados del público no científico y esta cualidad, en consecuencia, le confiere a los contenidos biológicos la

posibilidad de ser atendidos por un mayor número de personas dado que las nociones biológicas son más frecuentes y más claras que las nociones químicas o físicas.

El mundo biológico es, por otro lado, mucho menos predecible que el mundo físico. Existe una gran variación de las fuerzas biológicas, a diferencia de las fuerzas físicas cuyo ámbito es mucho más preciso. Esta diferencia se evidencia en el tipo de modelos que construyen ambas disciplinas. Los modelos biológicos frecuentemente necesitan incorporar una gran cantidad de parámetros de una gran variabilidad. Los modelos físicos son, en contraste, mucho más sintéticos y precisos (Smocovitis, 1992). Desde luego, la diferencia intuitivamente obvia entre la biología y las ciencias físicas es su organización: el mundo de los seres vivos presenta características propias y diferentes del mundo inanimado. Un ser vivo se forma por compuestos orgánicos que en sí mismos no poseen ninguna de las características que ya hemos mencionado. Esta emergencia de propiedades en diferentes niveles de organización es una de las cualidades que distinguen a los procesos biológicos.

La biología es una ciencia con mayor significado en terrenos sociales que las ciencias físicas. Sus normas y hallazgos frecuentemente influyen sobre concepciones filosóficas como la ética y la moral. Un caso claro es el de la sociobiología, la rama biológica que se encarga del estudio de las sociedades animales (Wilson 1975) y que a través de demostraciones de conductas animales como el "esclavismo en insectos" ha sugerido la extrapolación de dichos comportamientos a sociedades humanas calificándolas como "naturales" e inherentes a nuestra naturaleza genética.

### ***Reduccionismo ¿doctrina o método?***

Las teorías científicas frecuentemente se pueden englobar en otras de mayor generalidad. Uno de los objetivos centrales de la ciencia es precisamente promover esta integración procurando desarrollar principios con un poder de explicación cada vez mayor. Este proceso de reducción de los principios (y a veces de las ciencias mismas) ha sido muy frecuente, recordemos otra vez que la búsqueda de una ciencia unificada produjo que ciencias como la biología y la química, con principios muy diferentes, se redujeran a su naturaleza física para justificar su unión.

En el siglo XIX, el desarrollo de un cuerpo de estudios propios de la biología permitió trascender el análisis reduccionista en el cual se pretendía explicar complejos procesos biológicos tratando de comprender el funcionamiento de los niveles moleculares o atómicos. Actualmente ya nadie duda que un ser vivo posee propiedades emergentes que rebasan ampliamente la suma de las parte que lo componen. Sin embargo, existe una corriente filosófica que explica los procesos biológicos desde una visión reduccionista, es decir, tratando de comprender el funcionamiento de los seres vivos a través del examen de su esencia física, esta idea, permitiría reunificar la ciencia dado que la biología se rige por procesos elementales similares a los que caracterizan a la física y a la química. Por otro lado, toda una corriente de pensamiento ha sostenido que el carácter unificado de la ciencia se debe a su método que es universal. Karl Pearson escribió en 1900: "La unidad de la ciencia consiste en su método, no en su materia. El hombre que clasifica los hechos de cualquier índole, que advierte su mutua relación y describe el orden de sucesión, está aplicando el método científico y es un hombre de ciencia". (Novak, 1978).

Un criterio descalificador que emplean los defensores del reduccionismo para apoyar sus ideas es el de que aquellos que se oponen son por definición vitalistas, lo que quiere decir que han generado una explicación basada en ciertos argumentos difíciles si no imposibles de probar como la presencia de ciertas propiedades o fuerzas no medibles en los organismos. Por supuesto ésta es una posición discutible. Oponerse al reduccionismo no equivale, de ninguna manera, a convertirse en vitalista (Mayr, 1982). Lo mismo que no se puede explicar el contenido de un libro analizando el conjunto de letras que lo componen, no es posible interpretar el comportamiento y desarrollo de los seres vivos a través del estudio de las moléculas químicas responsables de este comportamiento. El reduccionismo en biología más que una aproximación filosófica puede ser comprendido como una herramienta metodológica que permita aislar problemas con fines prácticos. Dada la complejidad, estructural, fisiológica y conductual de los seres vivos, muchas veces es necesario "partir" de manera arbitraria los elementos involucrados en su estudio, este proceso es legítimo siempre que pondere las limitaciones que puede tener una interpretación parcial o bien que procure incorporar los diversos elementos que un estudio arroja dentro de un análisis global.

La idea de reducción en las ciencias experimentales es contemporánea de la filosofía mecánica del siglo XVII que requería en cierto sentido de que todas las leyes físicas se "redujeran" a interacciones entre las partículas de materia. Un organismo vivo era enfocado como una máquina. En 1932 Niels Bohr argumentó que existían ciertos fenómenos de los seres vivos que no podían explicarse por completo en términos físicos y sugirió un modo complementario de explicar los fenómenos que trascendiera el contexto físico. Max Delbrück inició entonces la búsqueda de un fenómeno biológico que no tuviera una explicación física.

Existen tres categorías de reduccionismo: el *teórico*, que se forma por aquellos modelos reduccionistas cuyo enfoque es necesariamente el de la relación entre varias teorías, donde casi siempre la teoría reducida es explicada por la teoría reductora. El *explicatorio*, que se forma por aquellos modelos reduccionistas en los que la entidad reducida es explicada por la reductora sin importar si esta entidad es una teoría, una ley o una generalización empírica. El *constitutivo* reúne a los modelos en los que existe un nivel superior (intuitivamente mayor) que se compone de niveles menores (intuitivamente menores) cuyas leyes los gobiernan (Sarkar, 1991a)

El reduccionismo se ha interpretado tradicionalmente de dos maneras: por un lado, existe una aproximación que lo concibe como una estrategia de investigación y por otro el que se utiliza para describir la estructura de las explicaciones proporcionadas por la biología molecular (Sarkar, 1991b).

Las explicaciones que se ofrecen para interpretar procesos moleculares (por ejemplo la diferencia entre el ADN y el ARN) presentan varias características:

—La explicación se puede presentar en términos de efectos o consecuencias de esta diferencia.

—No todos los efectos de esta diferencia (el peso molecular por ejemplo) son relevantes para la explicación. Los efectos que sí lo son se llaman *funciones* las explicaciones basadas en estos efectos son, en consecuencia, *explicaciones funcionales*. Las funciones son entonces ciertos efectos de algunas características de un organismo o de parte de un organismo y es muy relevante distinguirlas.

—La explicación que se ofrece depende de muchos factores que contextualizan las explicaciones y que son determinantes para que dichas explicaciones sean adecuadas.

—La pregunta que se quiere responder con este tipo de explicaciones es siempre “de origen”, ya que intentan abordar aspectos esenciales, de contenido. Las preguntas de origen intentan demostrar la *fuerza* de un aspecto esencial, a diferencia de las preguntas de mecanismo que intentan demostrar *cómo* ocurren los procesos.

—En busca de la explicación de algún aspecto esencial de alguna entidad biológica se produce una teoría (que no tiene más que explicar los mecanismos químicos en el caso de la biología molecular) que identifica los efectos de varias propiedades de este aspecto esencial. Una segunda teoría (la selección natural) determina cuáles de estos efectos son funciones bajo el criterio de que sólo aquellos efectos que promuevan la adecuación de la entidad biológica serán considerados como tales.

Aparentemente las explicaciones funcionales no pueden ser capturadas por el reduccionismo explicativo ya que se fundamentan sobre la teoría de la selección natural, que no puede ser considerada como una teoría física o química, ni ofrece una explicación en ese contexto. De esta manera ningún modelo reduccionista que parta de la categoría explicativa puede capturar la estructura de una explicación que involucre a la selección natural.

Pese a que la biología molecular se ha centrado en cuestiones de mecanismo, el problema del origen es muy importante en biología y no debe ser soslayado. En ese sentido se puede pensar que las explicaciones de la biología molecular no tienen que ser en estricto sentido reduccionistas (Sarkar, 1991b).

En la biología moderna, si bien ya no tiene cabida el finalismo aristotélico, aún sigue presente una diferencia entre la biología reduccionista, así llamada porque supone que las explicaciones sobre los seres vivos pueden reducirse a leyes físicas y químicas, y la biología

organicista, que sin negar que los seres vivos obedecen dichas leyes postula una identidad propia para ellos (Rojas, 1985).

Actualmente la biología se encuentra profundamente ocupada en la tarea de desembarazarse de muchos conceptos derivados de la época mágica. Por otra parte está relacionada estrechamente con nuestros intereses sociales y personales como para estar libre de las pasiones humanas y los efectos de las formas sociales como lo estaban la física y la química en sus primeras épocas. Los problemas de la genética, lo mismo que los de la población, el abastecimiento de alimentos y la agricultura son problemas políticos (Bernal, 1981). El impacto social del enorme desarrollo científico del siglo XX y de su corolario, la revolución tecnológica, ha sido tremendo y una de las reacciones de la sociedad ha sido el temor. El científico es concebido como un especialista insensible a los elementos más finos de la vida cultural (Rojas, 1985).

Estas asociaciones negativas deben evitarse en el medio educativo. En el contexto de la revolución tecnológica, la ciencia y la tecnología se relacionan con el hombre de diversas maneras; es el hombre quien las desarrolla y obtiene, a través de bienes y servicios, sus beneficios. La ciencia se incorpora así a la vida diaria del hombre ya sea como productor o como consumidor. La escuela no puede quedarse al margen de esta situación. Es necesario incorporar los conocimientos científicos y tecnológicos desde la educación elemental dado que son requisito para la integración de los individuos a la sociedad (Castro, 1990).

#### 1.4 Base conceptual de la biología

“La teoría de evolución es llamada con justicia la más importante teoría unificadora en biología”

Ernst Mayr

Ha sido Novak (1978) quien sugirió que la enseñanza de la ciencia es un problema conceptual. Efectivamente, si la ciencia ha sido reconocida como un conjunto cambiante de conceptos que guían tanto nuestros métodos de indagación como la interpretación de nuestros logros ¿no debería ser la enseñanza de la ciencia enfocada también en el aprendizaje de conceptos? Desde luego, es muy importante cuando se pretende estudiar cualquier disciplina, generar un análisis de los conceptos que la construyen, en biología por ejemplo los conceptos que se han desarrollado se han constituido en la piedra angular sobre la que descansa todo el conocimiento de los seres vivos. Desde luego, estos conceptos no son fijos e inmutables y se transforman de acuerdo con el desarrollo científico. El avance de la genética, por ejemplo está estrechamente ligado a la generación de conceptos como *gene*, *replicación* o *mutación*. En evolución sucede algo similar; si analizamos el desarrollo de conceptos como *adaptación* o *adecuación*<sup>1</sup>

La filosofía de la ciencia enfrenta varios problemas, uno de ellos es el de caracterizar y entender la dinámica que rige los cambios conceptuales en ciencia. En la historia de la biología, por ejemplo, la necesidad de distinguir entre varios conceptos de un mismo término se ha convertido en una necesidad teórica de primer orden. Conceptos como *gene* o *adecuación* han evolucionado a lo largo del tiempo. De acuerdo con la interpretación que los científicos generan sobre estos términos se han desarrollado líneas de investigación con preguntas diferentes, se

---

<sup>1</sup> Thompson (1983) realizó un estudio para comprender la estructura de la teoría de evolución a través de una estrategia semántica, lo que ilustra, de alguna manera la importancia de los conceptos y su definición en biología.

establece por así decirlo una división *lingüística* del trabajo. Si bien podemos asumir que un concepto usado adecuadamente puede evitar errores teóricos importantes, también es cierto que en algunos casos es difícil establecer un sólo concepto. Para gene, por ejemplo, puede haber una aproximación semántica operativa o una hipotética (siguiendo diferentes criterios podemos llamar a un fragmento genético *cistrón, mutón o recón*) (Burian, 1986).

El surgimiento, en el siglo XIX, de toda una corriente que pretende unificar los procesos biológicos y darles una identidad propia, se enfrentó a la aparición fragmentaria de nuevas disciplinas biológicas como la genética y la citología, ambas a inicios de este siglo. El hecho sugería que las ciencias biológicas difícilmente podían hallar un elemento unificador que les permitiera compararse con las sólidas estructuras de otras ciencias como la física y la química (Smocovitis, 1992).

En la búsqueda de los principios biológicos fundamentales destacó el trabajo de Haldane *Las bases filosóficas de la biología* en el que plantea la necesidad de establecer una base conceptual independiente al modelo mecanicista newtoniano. Esta propuesta permitió que a principios de los años treinta se reconociera finalmente a la biología como una ciencia independiente. Sin embargo, era necesario hallar los argumentos biológicos que justificaran esta separación ya que si bien se sabía que los procesos biológicos *no* se podían explicar en términos exclusivamente físicos, no era claro aún cual era el concepto vertebral que unificaría a la biología.

En respuesta a la influencia positivista que pretendía cobijar a la biología dentro de un esquema general de las ciencias, algunos movimientos destacaron las propiedades particulares de

los cuerpos vivientes. Sin embargo, estas corrientes fueron criticadas bajo el argumento de que empleaban una posición neo-vitalista (Smocovitis, 1992).

Las ramas de la biología que más críticas sufrieron, fueron aquellas relacionadas con la historia natural. El estudio de los procesos evolutivos, por ejemplo, carecía de un elemento que los hombres de ciencia calificaban como esencial: la experimentación, en ese contexto, la evolución, por ejemplo, podía englobarse como una materia preeminentemente histórica con poco o ningún sustento empírico.

El desarrollo de la genética y la biología experimental desplazaron a un segundo plano los estudios de historia natural y evolución que adquirieron una posición marginal dentro del desarrollo de la biología. El "rigor" científico, entendido como la experimentación necesaria, prevaleció y se consideró entonces que las evidencias basadas en la observación o la comparación (prácticamente las únicas herramientas de Darwin) eran de un valor casi nulo. El concepto de evolución, en consecuencia, se catalogó como poco riguroso y especulativo<sup>2</sup> (Smocovitis, 1992). A esta etapa del desarrollo de la biología se le conoce como "el eclipse del darwinismo".

La brecha entre los experimentalistas y los naturalistas parecía irreconciliable al inicio de la tercera década de este siglo ya que los miembros de ambas corrientes continuaban haciéndose diferentes preguntas (Mayr, 1982). En este contexto era necesaria la presencia de una nueva línea de investigación que conciliara ambas posiciones; era necesario integrar metodologías cuantitativas sin perder de vista el enfoque naturalista en el estudio de los procesos biológicos

---

<sup>2</sup> W.J. Crozier citado por: (Smocovitis, 1992), explicaba a sus alumnos en su curso de introducción a la biología en Harvard durante los años treinta: "La Evolución es un tema ideal para los suplementos dominicales de los periódicos, pero no es ciencia: ustedes no pueden experimentar con dos millones de años".

(Smocovitis, 1992). Dos condiciones se presentaron para que esta situación se modificara: primero, un grupo de jóvenes genetistas desarrolló un gran interés en los aspectos poblacionales de la evolución y en segundo lugar los naturalistas se percataron de que la interpretación genética no se oponía a su propia teoría (Mayr, 1992).

Un mecanismo de unión entre ambos procesos se generó gracias a la introducción en el estudio de los procesos evolutivos del modelaje matemático que ofrecía una fuente cuantitativa de análisis. El desarrollo en la concepción de variables susceptibles de ser tratadas matemáticamente como: mutación y deriva génica permitió “medir” los procesos evolutivos y definir a la selección natural como el mecanismo principal de la evolución. La selección natural se desprendió entonces de su componente metafísico y la evolución se convirtió, en consecuencia en una ciencia basada en la observación y la posterior experimentación. El gen se convirtió en la unidad del cambio evolutivo y la selección natural en la fuerza promotora de ese cambio. El resultado final consistió en la posibilidad de obtener una tasa del cambio evolutivo. La evolución entonces pudo definirse como: “el cambio en las frecuencias génicas de una población”. Se determinaron de manera precisa una serie de causas de la evolución como la selección natural, la mutación, la deriva génica, los sistemas de apareamiento y los fenómenos migratorios de una población. De esta manera la síntesis evolutiva se podía interpretar como un armazón en el que se reunían las bases materiales de la evolución (el gen) con las causas mecánicas del cambio evolutiva (la selección natural). De esta manera se llegaba a un compromiso entre el mecanicismo y el materialismo newtoniano con una metodología autónoma y privativa de las ciencias biológicas en la que se privilegiaba la observación y la experimentación. La evolución adquirió en ese momento una estructura científica sólida que agrupó a las hasta entonces

fracturadas ciencias biológicas, desde los estudios genéticos hasta los paleoantropológicos. (Mayr, 1982; Smocovitis, 1992).

La síntesis evolutiva y la biología con ella, se embarcaron en ese momento en un proceso de recapitulación de las experiencias de los diferentes campos dentro del contexto de la teoría evolutiva.

El libro de Julian Huxley: *Evolución: la síntesis moderna*, sentó las bases de la biología moderna al sistematizar todas las evidencias que apuntaban a una teoría evolutiva que mantenía su esencia darwiniana y a la vez integraba nuevos descubrimientos en campos como la genética, la paleontología y la embriología. La Síntesis marcó un hito en el análisis de los procesos biológicos. (Smocovitis, 1992).

Para mediados de la década de los cincuenta se contaba ya con una ciencia biológica unificada y madura que agrupaba a las diversas disciplinas afines al estudio de la vida. A partir de ese momento el estudio de los cambios en las frecuencias génicas se volvió materia de interés en campos muy diversos de la biología se desarrolló de esa manera la ecología evolutiva, la etología y un campo de investigación en evolución molecular. En 1953 se determinó la estructura del ADN y este hallazgo tuvo un impacto definitivo en el estudio de los procesos biológicos (Mayr, 1982).

### **1.5 Métodos de la biología**

Cada ciencia demanda su propia metodología y esto es muy importante ya que comúnmente se piensa que la experimentación es *el método* de la ciencia ignorando por completo otras aproximaciones como la descripción y la comparación (Mayr 1982). El trabajo experimental es relevante en biología y se usa de manera constante principalmente en procesos microbiológicos. Sin embargo, en el análisis de procesos macrobiológicos existen herramientas metodológicas propias de la biología que tienen poco o ningún valor en el contexto de otras ciencias. Carlos Darwin (1859) reunió toda la evidencia que le permitió desarrollar su teoría valiéndose de su capacidad de observación y de la posibilidad de establecer análisis comparativos entre muy diversos organismos. Después de más de ciento cincuenta años, estas herramientas no han perdido vigencia alguna; se han estructurado, en cambio, como elementos de gran relevancia en el estudio de los procesos biológicos. La observación, por ejemplo, es una de las herramientas metodológicas más importantes. Áreas como el estudio de la conducta animal confían sus hallazgos a la observación de manera preponderante. Por otro lado, la comparación constituye una línea metodológica también muy relevante; la taxonomía, por ejemplo, se fundamenta en el valor de los procesos comparativos que permiten establecer las rutas seguidas por los procesos evolutivos en los diferentes reinos de seres vivos. De esta manera se generaron categorías o niveles taxonómicos que permitieron ubicar grupos de organismos en unidades discretas. El concepto taxonómico de especie, por ejemplo, es de importancia vital en el análisis evolutivo y da origen a la división entre micro y macroevolución. La primera estudia los procesos evolutivos que ocurren por debajo del nivel de especie mientras que la macroevolución estudia procesos evolutivos de especies y categorías superiores como órdenes y familias.

La madurez conceptual de la biología la llevó a discusiones metodológicas más sutiles en las que se presenta una diferenciación de las estrategias metodológicas de trabajo, por ejemplo en los procesos macro y microevolutivos. Dobzhansky argumentó que los mecanismos genéticos que explicaban el cambio microevolutivo (evolución por debajo del nivel de especie) explicaban también los cambios macroevolutivos (la evolución que incluye a las especies y categorías taxonómicas superiores). Sin embargo, en épocas recientes algunos paleontólogos han ofrecido argumentos en el sentido de que la macroevolución es un campo autónomo y no puede reducirse a la teoría microevolutiva. Este razonamiento se basa en la teoría del "equilibrio-puntuado" propuesta por Eldredge y Gould (1977) que propone un sistema de evolución morfológica basada en cambios bruscos que implican que las nuevas especies sean muy diferentes de sus ancestros. Este modelo contrasta de manera notable con un modelo gradualista que propone que los cambios morfológicos se presentan de manera gradual

Existen evidencias fósiles que apoyan los dos puntos de vista. Sin embargo, el modelo del equilibrio puntuado plantea que estos cambios bruscos en el proceso evolutivo ocurren durante la formación de nuevas especies, es decir forman parte del proceso de especiación y aquí se presenta un problema; por definición, las especies son grupos de organismos que se han aislado reproductivamente de otros grupos. Sin embargo, el registro fósil se enfrenta al problema de evidenciar este aislamiento reproductivo a partir de pruebas paleontológicas ya que los paleontólogos generalmente reconocen especies diferentes de acuerdo a diferencias morfológicas, de esta manera las nuevas especies, que no pueden distinguirse morfológicamente de sus parientes, no podrían ser reconocidas por éste método (Ayala, 1986)

La teoría del equilibrio puntuado plantea que la evolución filética ocurre en dos niveles. En primer lugar hay un cambio en el interior de una población que es continuo durante el tiempo y consiste en la sustitución de alelos a través de procesos como la selección natural, la mutación, la deriva génica. Este proceso ocurre a nivel individual, por otro lado, existe un proceso de aparición y extinción de especies, el cambio morfológico en su mayoría está asociado con la aparición de nuevas especies, este es el camino de las rutas evolutivas más que de la evolución dentro de linajes establecidos. De esta manera, la unidad relevante del estudio macroevolutivo es la especie más que el individuo. lo que distingue a este modelo del usado para estudiar procesos microevolutivos (Ayala, 1986).

La pregunta verdaderamente relevante tiene que ver con la validez de la separación de ambas ramas. Existen argumentos en ambos sentidos. Por un lado se argumenta que la suma de las partes presenta propiedades llamadas emergentes que la distinguen del nivel jerárquico inmediato anterior. Sin embargo, los procesos biológicos son esencialmente jerárquicos y esta disposición no justifica (por lo menos no es el único argumento) que se disponga de nuevas ramas biológicas para entender estos procesos. El reduccionismo es un proceso saludable, sólo en la medida que se cuente con argumentos para emplearlo; en nuestro ejemplo, dado que las unidades de los diferentes procesos son diferentes, bien podría pensarse que los argumentos a favor de una separación de las ramas de estudio se justifica plenamente. Sin embargo, es necesario ponderar los riesgos que podría tener una actitud obsesivamente antireduccionista en cuanto a la idea de la búsqueda de principios generales que unifiquen las teorías científicas.

## **1.6 Conclusiones del capítulo**

Se ha presentado en este capítulo una serie de fundamentaciones que permiten advertir que el conocimiento biológico se ha construido de manera independiente y que el supuesto de que la reducción a la esencia física de los procesos naturales es la aproximación más adecuada para entenderlos es cuestionable. Asimismo, se han descrito una serie de propiedades de la biología que han determinado el uso de herramientas metodológicas propias y específicas que es necesario considerar y que cuestionan la idea de un método único para hacer ciencia.

Por otro lado se ha discutido la importancia de la evolución como un concepto que unifica el pensamiento biológico y que permea, de manera transversal a todas las áreas de esta disciplina (v. gr. ecología, genética, fisiología, etc)

La presentación de todos estos elementos sugiere algunas de las claves epistemológicas que deben ser tomadas en cuenta en el momento de diseñar una estrategia educativa para la enseñanza de la biología.

## **2. EL PROBLEMA EMPÍRICO**

**"La verdadera enseñanza de la ciencia consiste no sólo en impartir los hechos científicos sino en habitar al estudiante a que observe y razone por sí mismo acerca de lo que ve, para cotejarlo con posteriores, observaciones o experimentos"**

**Comisión Escolar de Inglaterra (1868)**

En este capítulo se aportan elementos de discusión para caracterizar la evolución de las propuestas de enseñanza de la ciencia. Se presentan algunos de los problemas más comunes en la enseñanza secundaria en nuestro país y se ofrecen indicadores que reflejan la baja comprensión que se tiene de las disciplinas científicas. Asimismo, se discute en detalle el programa de biología para secundaria propuesto por la SEP en 1992, vigente en el momento de iniciar este trabajo. Con el fin de brindar contexto a este trabajo se ofrece un análisis de diversas propuestas para la enseñanza de las ciencias naturales en países de Iberoamérica e Inglaterra y, finalmente, se ofrecen sugerencias específicas que deberían ser consideradas en la elaboración de una nueva propuesta curricular.

### **2.1 La enseñanza de la ciencia**

El propósito de la enseñanza de la ciencia es el de desarrollar en el niño la capacidad para entender el medio en el que vive. Al razonar sobre los fenómenos que observa y las causas que los producen, se pretende que el estudiante desarrolle una "actitud científica" entendida como aquella que propiciará que formule hipótesis y las verifique posteriormente (Candela, 1990). Sin embargo, la enseñanza de la ciencia también debe cumplir un propósito esencial, que es el de

vincular a los estudiantes con los procesos científicos y tecnológicos. Layton (1986) caracterizó algunos aspectos que es necesario considerar en la enseñanza de la ciencia:

—Los estudiantes deberían apreciar que el desarrollo científico y tecnológico tiene efectos significativos en sus propias vidas.

—Los estudiantes deben entender que la participación de la sociedad en decisiones que los afectan es necesaria.

—Los estudiantes deben entender de qué manera las decisiones de los expertos validan ciertas líneas de desarrollo. Sin embargo, estas políticas deberían reconocer criterios éticos y de valor acerca de la mejor manera de controlar los efectos de la ciencia y la tecnología en las sociedades humanas. Los alumnos deberían reconocer que estos valores y normas no pueden ser delegados exclusivamente a los expertos y deben ser el resultado de una consulta lo más amplia posible.

—Los estudiantes deben ser estimulados a clarificar sus propios valores respecto a los aspectos sociales implícitos en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

—Los estudiantes deben aprender la manera en que pueden trasladar su propia visión en una acción participativa en la que presenten sus ideas y escuchen las de los demás.

La ciencia escolar tiene una imagen muy problematizada; frecuentemente se le enfoca como algo difícil de estudiar, de escasa relevancia para problemas importantes y como la responsable de la mayoría de los problemas ambientales. Una de las posibles explicaciones a esta visión se centra en la organización curricular, frecuentemente diseñada por especialistas que no ponderan la manera en que los estudiantes aprenden ciencia en las escuelas.

Existe evidencia de que los estudiantes de 11 y 12 años tienen un fuerte interés en la ciencia que declina drásticamente en los siguientes años (Head, 1986). Este cambio se ha atribuido generalmente al aumento de la complejidad del currículum de ciencia sin hacer referencia a los cambios que sufren los adolescentes. Diversos estudios han sugerido que en general los hombres demuestran mayor interés que las mujeres en las materias científicas y que los estudiantes varones que eligen alguna disciplina científica como profesión, tienen un carácter emocionalmente reticente y controlado, mientras que las mujeres que hacen lo mismo, presentan mayor madurez y no ejercen este control emocional (Head, 1986). Es necesario ponderar estas variables del adolescente en el diseño curricular (Head, 1986). Por supuesto, las diferencias de percepción por parte de los alumnos no son el único problema, existen muchos más que se han caracterizado para la enseñanza de la ciencia, particularmente en la escuela secundaria.

El nivel secundario es muy importante ya que en él los estudiantes se enfrentan por primera vez a un curso formal de ciencias. En esta etapa, además, los alumnos definen la disciplina en la que se desarrollarán profesionalmente. Pese a esta importancia la enseñanza secundaria presenta serias deficiencias.

Quiroz (1991), señala 4 problemas que obstaculizan la apropiación del contenido académico en la enseñanza secundaria; el nivel de significación de los contenidos, el predominio de la lógica de la actividad, el esfuerzo adaptativo de los estudiantes y el énfasis de la evaluación formal. Estos elementos operan en contra de la integración efectiva de los contenidos en el saber de los estudiantes. De alguna manera existe un conflicto entre las posibilidades de que el alumno se apropie de los contenidos académicos y la estructura de la escuela secundaria; esta incompatibilidad está determinada por las características del currículum, las condiciones

materiales del trabajo docente y las tradiciones académicas del magisterio. Existen más problemas en la enseñanza secundaria del país; hay deficiencia en contenidos programáticos, no hay vinculación con la realidad de los alumnos, no se dispone de recursos para una educación experimental adecuada, el profesorado tiene una preparación deficiente ya que no se exige formación normalista ni universitaria (Talanquer, 1990).

La educación básica, tanto en el pasado como en el presente, obedece a programas curriculares que son desmedidos en la cantidad de contenidos que se presentan al educando. Se enseñan conocimientos con una diversidad y un grado de complejidad que, frecuentemente, ni los especialistas recuerdan. Los contenidos de cada tema, se encuentran descontextualizados y aislados uno de otro, lo que no permite al alumno integrar estos conocimientos entre sí ni con una red ya existente. Además, los contenidos suelen ser ajenos al niño; no le dicen ni explican el funcionamiento del entorno que los rodea. La educación se ha conformado como un proceso de enseñanza enciclopédica y atiborrante, en el que la mayoría de las veces se recurre a la memorización mecánica con base en la simple repetición; esto la hace además tediosa y aburrida (Tirado 1990). Casi nunca se toma en cuenta que los alumnos manifiestan expectativas diferentes y alternativas a las que el maestro desea o espera (Driver, 1986b).

La mayoría de las materias científicas que integran los currícula escolares son frecuentemente enfocadas con un nivel notable por su falta de significado. Castellanos (1988) define, por ejemplo, en su libro de texto para estudiantes de primero de secundaria: "El átomo es la menor cantidad de materia que puede existir libre y se comporta como individuo (unidad indivisa) en las reacciones químicas".

La creación de la terminología científica está dictada hasta cierto punto por el ideal de expresar de la manera más fiel posible el objeto de estudio. El científico busca crear una terminología que permita identificar lo que nombra y la descripción de algunas de sus propiedades. Sin embargo existen características propias del lenguaje que dificultan este propósito: la diversidad de las necesidades de los usuarios, la creación de sinónimos, el uso de las metáforas, la necesidad de traducir ciertos términos. Esto determina problemas cuando el propósito es transmitir ideas conocimientos a un público no especializado (como ocurre en el ámbito escolar). Es necesario eliminar todos aquellos componentes del lenguaje científico que dificulten su comunicación a sectores no-científicos. La descripción detallada de un objeto o proceso no es por lo regular necesaria para los fines de la divulgación (si bien los autores se refieren en su trabajo a la divulgación de la ciencia, podríamos agregar que los mismos principios rigen para los escolares de los niveles básicos) ya que el objetivo que se persigue es que la información sea interesante (Bonfil y Tappan, 1993). Los niños en la medida que crecen se enfrentan a un lenguaje más metafórico, esto determina que desarrollen concepciones equivocadas sobre ciertos términos que interpretaban de una manera más correcta cuando eran más pequeños. Los términos: "animal" y "fuego", por ejemplo, tienen un significado más correcto en términos científicos en niños menores (Osborne *et al.* 1986). Esta es una consideración que no debe soslayarse en el diseño de materiales educativos.

La carga de contenidos educativos es enorme y corresponde a un enciclopedismo elemental. Se tiene un currículum excesivo y confuso en la medida que no hay ejes ordenadores ni mínimos educativos a alcanzar. Casi nunca los mentores logran examinar todos los puntos del

programa (Guevara 1992a). Por falta de tiempo y de conocimientos, en muchas ocasiones los maestros explican los temas con base en su sentido común.

Recientes estudios han revelado resultados alarmantes en el rendimiento académico de nuestras generaciones de estudiantes. Tirado (1986) aplicó un cuestionario con conocimientos elementales de primaria a 381 personas de las cuales el 78 % había cursado ya la secundaria. Los encuestados contestaron acertadamente el 49% de las preguntas en promedio. En diez años 72 700 aspirantes al bachillerato de la UNAM promediaron 3.8 en una escala de 10, en un examen de opción múltiple de nivel secundaria (Carpizo 1986). Un resultado de 61.2% de aciertos en promedio se obtuvo al analizar estudiantes de instituciones públicas y privadas, en ese caso, todos los encuestados poseían estudios universitarios (Tirado, 1990). Guevara (1992a) señala una de las más notables contradicciones de nuestro Sistema Educativo al comentar que no existen mecanismos efectivos para evaluar o hacer el seguimiento de lo que ocurre en el salón de clase. Una encuesta aplicada a más de 1500 maestros de primaria (Guevara 1992b), indicó que el 73% considera que no existen mecanismos para evaluar su desempeño.

Uno de los problemas más importantes asociados a la enseñanza de la ciencia es el de la sobrevaloración del método científico y el laboratorio como una fuente de conocimiento. La estrategia educativa retoma las partes más conspicuas y poco importantes obligando al alumno a imitarlas, frecuentemente con pobres resultados (Ausubel, 1976), la introducción del método científico como un paradigma metodológico de la ciencia y su enseñanza ha sido perjudicial. En la mayoría de los casos se aplican mecánicamente una serie de reglas que pueden ofrecer a los estudiantes la peligrosa visión de que la ciencia se desarrolla por medio de procesos mecánicos (Pérez Pascual, 1991).

La visión tradicional de la enseñanza de procesos científicos en la escuela básica ha correspondido a un modelo en el que la ciencia se enfoca como un producto acabado o como un método de trabajo, no como un cuerpo de conocimientos en constante transformación que se desarrolla en el marco de teorías científicas. Nieda y Cañas (1992), realizaron un análisis comparativo de los currícula de biología, física y química en los países de Iberoamérica y concluyeron que en prácticamente todas las naciones priva un modelo ahistórico de enseñanza.

En cuanto a las actividades de laboratorio, los experimentos se plantean como metas definidas y generalmente no hay el tiempo suficiente para favorecer la reflexión (Driver, 1986a) y no se considera que los alumnos necesitan tiempo para pensar y comentar sus experiencias (Driver, 1986b).

Uno de los modelos para educar acerca de contenidos científicos planteaba la necesidad de que el niño adquiriera la personalidad de un científico. Sin embargo, se pueden hacer a este modelo objeciones muy simples. El estudiante de los niveles básicos reconoce los experimentos como ejercicios cuyo propósito es brindarle una definición operacional de ciertas teorías. El estudiante de ciencias frecuentemente acepta una teoría con base en la autoridad del maestro o de un libro de texto, no con base en la evidencia, ésta es una diferencia central con la actividad científica (Donelly, 1986).

Una posible aproximación es la de permitir al alumno que lleve a cabo sus propias investigaciones, más que para establecer un principio, para ganar experiencia en diseñar y experimentar de acuerdo a su propia iniciativa. La meta de actividades como éstas se centra en los pasos más que en el resultado. Es importante que el estudiante diseñe, decida qué aparatos

utilizar y registre cuidadosamente. Una aproximación de este tipo estimula la creatividad y la imaginación (Driver, 1986a).

Hay que entender que una teoría científica es adecuada no cuando demuestra ser *verdadera* en un sentido absoluto, sino cuando es razonable, plausible y tiene el suficiente poder explicatorio y estimula investigaciones más profundas. Este sentido rara vez es adoptado en los salones de clase. Es más sensato permitir a los alumnos que utilicen en la discusión los modelos que generan y que les son legibles, que aquel que el profesor presenta como el verdadero y que generalmente no es accesible para los estudiantes. Los alumnos deberían experimentar discutiendo y revisando sus propios modelos ante la evidencia. Esto permitirá que reciban con mayor cabalidad un modelo moderno en el que la ciencia no se considera como un producto terminado (Selley, 1986).

Existen diversos trabajos que han tratado de explicar la manera en que los estudiantes se asocian con el conocimiento biológico. La biología despierta mayor interés que la física en los estudiantes y este porcentaje se acentúa en el caso de las mujeres (Welford y Donnelly, 1989). La actitud inicial de los niños hacia la biología es positiva en términos afectivos, esta tendencia se modifica en la medida que aumenta su edad (probablemente debido a aspectos que consideran desagradables como las disecciones). En cambio, los estudiantes mayores tienen un mayor aprecio cognitivo por la materia, ya que reconocen que es "constructiva" (Tamir y Amir, 1987). En el ámbito escolar, la biología es una materia en la que las clases se inician con el maestro explicando conceptos, rara vez se utilizan las ideas de los alumnos. En el laboratorio frecuentemente los problemas los plantea el maestro, los alumnos toman notas del pizarrón y tienen exámenes de manera regular. En los cursos iniciales de secundaria se usa con una gran

frecuencia el libro de texto y se asiste con mayor frecuencia al laboratorio que en cursos posteriores (Tamir y Amir, 1987). Otros problemas se dan por el poco financiamiento escolar hacia la adquisición de materiales y la resistencia inicial de los alumnos hacia el conocimiento científico (Wheeler, 1987).

Welford y Donelly (1989) al hacer un análisis del estudio de la biología en la escuela secundaria concluyeron que los maestros de biología en promedio estaban mejor calificados que los maestros de física y, sin embargo, la biología era abordada en el salón de clase más en términos de adquirir hechos que de resolver problemas. Este problema podría explicarse por la falta de motivación de los docentes.

Los problemas en la enseñanza de la ciencia podrían generar una lista interminable; Yager y Penick (1983), señalaron algunos resultados que arrojó una evaluación nacional en los Estados Unidos y que no parecen muy diferentes a nuestros problemas nacionales:

—La exposición del maestro, la lectura del libro y la recitación posterior por parte de los alumnos siguen siendo las formas fundamentales de instrucción.

—Las actividades experimentales se limitan a ejercicios y prácticas de verificación dada por el libro de texto o por el maestro.

—Se sigue evaluando repetición de contenidos, vocabularios, definiciones, fórmulas etc.

—La ciencia en la escuela no retoma las ideas ni la experiencia extraescolar de los alumnos.

—La enseñanza de la ciencia no tiene incidencia sobre lo que los alumnos piensan ni sobre lo que los alumnos hacen.

Los procesos cognoscitivos son aquellos por medio de los cuales adquirimos y empleamos el conocimiento. La teoría de aprendizaje cognoscitivo plantea como su elemento más importante el del *aprendizaje significativo* que ocurre cuando la nueva información se enlaza con los conceptos pertinentes que ya existen en la estructura cognoscitiva del que aprende. Esto implica que las vivencias son determinantes para la adquisición de nuevo conocimiento. Dentro de esta teoría -planteada por David Ausubel- existe un concepto fundamental: el de organizador avanzado. Un cuerpo de conocimientos más general y abstracto que la información a seguir y que debía funcionar como un puente para facilitar el aprendizaje significativo (Novak, 1978). Los procesos de la enseñanza de la biología en nuestro país paradójicamente han sido diseñados en sentido inverso, esto es, partiendo de los conceptos más particulares (célula) y terminando en los más globales e inclusores (evolución). No parece haber en el diseño de secuencias de enseñanza, ninguna reflexión acerca del orden más efectivo para transmitir los contenidos. En este contexto es necesario determinar las estrategias didácticas que permitan revertir esta corriente y provocar un cambio en la manera de enseñar ciencia, tratando de superar las inercias desgastantes de un sistema educativo en crisis.

#### *Antecedentes del desarrollo de la enseñanza de las ciencias naturales*

En el desarrollo de la enseñanza de las ciencias naturales, diversas corrientes han sido representadas en las propuestas curriculares. Veamos un breve panorama:

Las discusiones sobre cómo enseñar ciencia se sistematizaron en el siglo pasado: en la primera mitad del siglo XIX aparentemente se dio un movimiento para incorporar los problemas sociales. En Estados Unidos la ciencia fue presentada en el periodo previo a la guerra de

secesión, como un elemento esencial en el desarrollo de valores morales. En Inglaterra en el mismo periodo se presentaron funciones sociales diversas y bien definidas para la educación científica.

La profesionalización de la ciencia en la segunda mitad del siglo XIX determinó su independencia sobre evaluaciones utilitarias en su estructura (Layton, 1986). Kuhn ha señalado: "el aislamiento de la comunidad científica de la sociedad permitió a los hombres de ciencia concentrarse en problemas que no requerían una solución urgente". Sin embargo, este aislamiento tan provechoso en un sentido, tuvo efectos concretos en la estructura de las ciencias. Todavía en la década de los sesenta los programas de educación científica reflejaban este divorcio entre ciencia y sociedad presentando contenidos de gran "pureza académica". Parecería que una de las intenciones era crear *embriones* de científicos. La educación de la ciencia carecía, en síntesis, de contacto con los valores humanos (Layton, 1986).

A finales de la década de los cincuenta varios de los países avanzados de occidente manifestaron su preocupación por la calidad de la educación científica. El lanzamiento del Sputnik en 1957 que demostraba el liderazgo ruso en la carrera espacial fue considerado como un logro atribuible a la calidad de la educación en aquel país. Esto determinó una amplia evaluación para conocer los alcances de los alumnos ante los distintos objetivos educativos, produciéndose profundas reformas en la enseñanza de la ciencia.

En 1960 se desarrolló en Inglaterra el proyecto Nuffield que planteaba la necesidad de entender principios más que acumular hechos, su fundamento era un modelo; el aprendizaje por descubrimiento en el que el trabajo práctico era determinante y una fuente para comprender los principios científicos desarrollando capacidades de observación y manipulación (Uzell, 1986).

En nuestro país, al mismo tiempo, algunas reformas indicaron cierta reflexión en cuanto a las maneras de enseñar ciencia; por ejemplo, la inclusión en la escuela primaria de nociones y conceptos de física y química y la presentación de elementos metodológicos como procedimientos y fases del método científico (Castro, 1990).

El aprendizaje por descubrimiento partía de la premisa de que la actividad intelectual es la misma en la frontera de la ciencia que en un aula de tercer grado. Esta visión privilegiaba la posibilidad de aprender descubriendo sobre la de ofrecer respuestas "correctas". En la práctica, el objetivo fundamental de la enseñanza por descubrimiento ha sido el de la enseñanza del método científico a partir del desarrollo de actividades experimentales para que los alumnos descubran de manera inductiva (Candela, 1991). Sin embargo, este método de aprendizaje no cubría las expectativas que sobre él se habían generado como una posición educativa alternativa ante los métodos tradicionales. Las explicaciones para este resultado negativo se centraron en la ineficacia de enfocar al método científico como un cuerpo paradigmático que invariablemente conducía a la "verdad" (Candela, 1991).

Algunos importantes filósofos de la ciencia sostienen que los experimentos y la observación constituyen la parte medular de la ciencia y su tema crucial es el de las relaciones lógicas entre los hechos experimentales y las hipótesis. Este modelo de explicación de la naturaleza científica por Bacon hace más de trescientos años (Novak, 1978). Sin embargo, investigaciones más recientes han generado un cambio en la visión de la ciencia. Los estudios acerca de los procesos históricos han demostrado que las concepciones especulativas juegan un papel central; también se han descubierto importantes y decisivos procedimientos experimentales que involucran la pasión y no la lógica (Novak, 1978) y ha habido un creciente reconocimiento

de que, como lo es en otras empresas humanas, la herencia conceptual gobernó la percepción y el pensamiento que el hombre tuvo acerca de las cosas.

Thomas Kuhn, (citado por Novak, 1978) desarrolló la tesis de que las conceptualizaciones o paradigmas que norman el trabajo del hombre de ciencia, determinan los métodos que empleará y lo que verá en sus observaciones. Aunque *La estructura de las revoluciones científicas*, el libro clásico de Kuhn ha sido criticado por la ambigua definición que da acerca de los paradigmas y por su énfasis en la transición "revolucionaria" de viejos a nuevos paradigmas, contribuyó, sin embargo, a dar un golpe de muerte al mito de que la ciencia era "una lógica del descubrimiento", o una empresa de recolección de datos no subjetiva.

Stephen Toulmin (citado por Novak, 1978) señaló que diversos investigadores han caído en trampas lógicas, porque su investigación de la "verdad" científica por métodos lógicos, conduce a un retroceso infinito" en el que algo debe ser supuesto como verdadero, donde la verificación de nuestros propios supuestos nos llevará finalmente a alguna "verdad" a priori que debe ser aceptada con fe. Más que aspirar a una lógica del descubrimiento, Toulmin sostiene que debemos aceptar que pensamiento racional y pensamiento lógico no son idénticos y afirma:

Un hombre demuestra su racionalidad no sometándose a ideas fijas, a procedimientos estereotipados o a conceptos inmutables, sino por el modo en que, y las oportunidades donde, modifica esas ideas, procedimientos y conceptos (citado por Novak, 1978).

Para Toulmin, los procesos tienen una base evolutiva: "Los conceptos, como los individuos, tienen su historia y son realmente tan incapaces de resistir los estragos del tiempo como lo son los individuos" (citado por Novak, 1978).

Durante los ochenta se desarrolló un modelo alternativo; el constructivista de aprendizaje, basado en la premisa de que las ideas que maneja el que aprende son determinantes e

interaccionan dinámicamente para construir, de esta manera, nuevos significados. Dentro de este esquema tienen un gran valor las ideas de los niños, entendidas como visiones alternativas y en muchos casos diferentes a las que la ciencia plantea (Candela 1991).

Chamizo (1992) resumió los principales cambios en los objetivos de los programas de ciencias.

1960-1980	1990
Preparación	Divulgación
Énfasis disciplinario	Énfasis en la sociedad
Ciencia en el laboratorio	Ciencia en la comunidad
Dominio del contenido	Apropiación del contenido
Construcción de modelos	Toma de decisiones
Énfasis en el binomio: correcto/equivocado	Énfasis en el binomio riesgo/beneficio
La clase como una unidad	Pequeños grupos de trabajo
Problemas resueltos individualmente	Problemas resueltos colectivamente
El alumno acepta el conocimiento	El alumno construye el conocimiento
El maestro enseña	El maestro promueve el aprendizaje
Evaluación cuantitativa cerrada	Evaluación cualitativa abierta

Una nueva corriente en la que se reconoce el valor de brindar un contexto social en la enseñanza de la ciencia predomina ahora en el diseño de materiales educativos. Sin embargo, es importante generar un compromiso con consideraciones acerca de la estructura de una disciplina.

Jerome Brunner plantea por ejemplo que:

El currículum de una disciplina debería ser determinado por la comprensión fundamental de los principios que subyacen a esa disciplina. Enseñar temas específicos o habilidades sin ponderar ese contexto es vano y hará extremadamente difícil para el estudiante generalizar lo que ha aprendido a lo que luego encontrará.

Una parte significativa del currículum de ciencia ha atendido la importancia de incorporar la estructura de una disciplina y además desarrollar un trabajo práctico intenso. Sin embargo, si no existen los vínculos necesarios entre el componente teórico y el práctico, el alumno recordará sus cursos como una serie de experiencias discontinuas. En algunos casos los alumnos pueden mantener el interés pese a la falta de estos vínculos, si consideran que con el tiempo la información que reciben les será útil. Por otro lado, hay alumnos (quizá la mayoría) que tienen una expectativa más demandante. No están preparados para esperar semanas o meses mientras la información que reciben adquiere sentido. Muchos de estos estudiantes no continuarán su educación científica formal (Driver, 1986a).

El reto que enfrenta la enseñanza de la ciencia es el de presentar teorías a los alumnos que deben ser comprendidas y no tomadas como verdades inmutables. Se debe hacer una distinción entre la comprensión y la creencia. Es importante y posible que los alumnos sean capaces de entender otras teorías sin que esto implique necesariamente su aceptación (Driver, 1986a).

El desarrollo del currículum científico debe atender la estructura del pensamiento del niño de la misma manera que toma en cuenta la estructura de las disciplinas y no debe implicar de manera necesaria la estructuración de los programas de acuerdo al desarrollo de las ideas científicas. El orden lógico para enseñar un tema puede no corresponder con el orden psicológico (Driver, 1986a).

La ciencia en las escuelas prepara a los estudiantes para enfrentar ciertos aspectos de la vida moderna. Mucha gente necesita saber ciertos elementos científicos para desarrollarse en su carrera. Sin embargo, no toda la educación científica debería ser estrictamente vocacional ya que puede responder al interés natural de los estudiantes. Es muy importante diferenciar hacia quien se destinan los cursos de ciencia y de esta manera tratar de entender los propósitos (Ziman, 1986).

Hay quien advierte, por otro lado, que el diseño curricular puede cumplir funciones menos nobles que las de simplemente transmitir conocimientos. El diseño curricular puede operar como un elemento de control social. Los diseñadores del currículum podrían tener motivos para promover una sociedad científicamente iletrada que se enfoque a sí misma como dependiente de las decisiones tomadas por los expertos. Layton (1986) señala el riesgo de que la enseñanza de la ciencia tenga sesgos hacia ciertos valores y se convierta en un mecanismo doctrinario. Varias preguntas deben resolverse: ¿cuál es la visión de la sociedad que desea proyectarse? ¿El interés de quien se promueve con el currículum? ¿Cuál manera de ver el mundo es la que se presenta? (Hodson y Prophet, 1986).

### **2.1.1 Enseñanza de la biología en México**

En 1553 se fundó la Universidad de México, Europa en ese momento entraba de lleno al Renacimiento. Un año antes, se había publicado el códice Badiano, un importante catálogo de plantas con propiedades medicinales que incorporaba los conocimientos de los antiguos mexicanos. En 1621 se fundó una cátedra de anatomía y cirugía, casi 100 años después de que Vesalius en 1543 desarrollara sus espléndidos estudios del cuerpo humano. El primer Jardín Botánico de la Ciudad de México se fundó en 1788, un año antes de la Revolución Francesa. En ese momento en Francia y Alemania se desarrollaba ya la profesionalización de la ciencia y empezaban a circular por Europa diversas publicaciones científicas (Gortari, 1979; Mayr, 1982).

El siglo XIX se caracterizó por la separación definitiva de la ciencia y la religión (baste pensar en las discusiones sobre la teoría darwiniana). En México, el gobierno republicano en 1833 intentó quitarle al clero el monopolio educativo que hasta entonces detentaba y estableció seis ramas de estudios mayores, una de esas ramas era la de ciencias físicas y matemáticas que además del estudio de esas dos disciplinas comprendía a la química, la astronomía, la geografía y la botánica. Esta última disciplina era, sin duda una de las que más tradición de estudio tenía. En 1825 se había publicado un texto llamado las tablas botánicas (Gortari, 1979).

En 1860, un año después de la publicación de la Teoría de la Evolución viene la Reforma y con ella toda una corriente de renovación que alcanza el ámbito de la enseñanza de las ciencias. En 1861 se promulgó la Ley sobre Instrucción Pública elaborada por Ignacio Ramírez, uno de sus enunciados dirigido a los maestros tiene una sorprendente vigencia:

Formar cada año una memoria sobre la materia de su cátedra, con explicación de los adelantamientos que haya tenido la ciencia hasta la fecha de la memoria; noticias de las obras de importancia que se hayan publicado aquí o en Europa; juicio estudiado de ellas y proposiciones sobre las mejoras que puede tener la enseñanza sobre las materias de su cátedra y autores que puedan adoptarse para lo de adelante, llevando en esta clase de informes la idea de que la enseñanza siga el progreso de los conocimientos humanos. Estas memorias serán vistas en las juntas de catedráticos para que éstas por vía de adición, pongan a cada una de ellas las anotaciones que acuerden (Gortari, 1979).

Maximiliano llegó a México en 1864, en tres años fue derrotado por el ejército republicano y su fusilamiento tuvo lugar en 1867. A finales de ese mismo año, el gobierno republicano promulgó la Ley Orgánica de Instrucción Pública redactada por Gabino Barreda. Dentro de sus lineamientos se contempla "popularizar y vulgarizar las ciencias exactas y las naturales". En el mismo contexto se fundó la Academia Nacional de Ciencia y Literatura. En Europa, Gregorio Mendel llevaba a cabo en la misma época sus experimentos con chícharos que darían paso al desarrollo de la genética (Gortari, 1979; Gardner, 1980).

El influjo positivista de Gabino Barreda fue transmitido al sistema de enseñanza en el se privilegiaba el uso de la razón y se entendía a la naturaleza como un sistema regido por leyes invariables que era necesario conocer. El sistema positivista proscribió las polémicas religiosas del ámbito científico lo que desde luego tuvo un efecto saludable en el desarrollo de la ciencia en nuestro país. Sin embargo a principios de siglo su espíritu fue desvirtuado por los "científicos" porfiristas que utilizaron a esta corriente como un mecanismo de control político.

Con el surgimiento de la escuela secundaria pública durante la última mitad del siglo XIX, y debido a la expansión de los estudios universitarios para incrementar el estudio de la ciencia, la enseñanza de la biología comenzó a ocupar un lugar prominente en los currícula. Los libros de texto eran amplios compendios de información organizados comúnmente conforme a sistemas taxonómicos o, en el caso de la fisiología, de acuerdo a los sistemas en que el cuerpo se divide.

Los métodos de enseñanza insistían en la memorización de detalles factuales, con un mínimo de énfasis sobre los conceptos biológicos importantes que sirven para organizar los hechos conocidos y para permitir una comprensión de la forma en que funcionan los sistemas vivos. Este proceso tuvo su origen en Europa y se extendió como un modelo para la educación en América (Novak, 1978).

Nuestro país bajo la influencia positivista se dio a la recolección exhaustiva de datos y a la generación de sociedades y publicaciones periódicas que reflejaran el avance científico. En 1868 se fundó la Sociedad Mexicana de Historia Natural y en 1869 se crea la revista *Naturaleza* que se publicaría hasta 1914. Alfonso Herrera fundó la primera cátedra de biología general en la escuela normal para profesores y en 1911 se fundaron dos cátedras de botánica en la Escuela de Altos Estudios y en 1916 se inició la cátedra de Zoología. En 1938 se funda la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas en el Instituto Politécnico Nacional y en 1939 la Facultad de Ciencias en La Universidad Nacional. De esta manera se constituye la biología como una profesión formal (Gortari, 1979).

## **2.2 Propuesta oficial**

Durante más de cincuenta años la enseñanza de las ciencias en nuestro país mantuvo un sesgo orientado hacia el conocimiento enciclopédico. Como resultado de los procesos de cambio global generados en la década de los sesenta, se generó una reforma en los programas de educación media básica en 1974, en ellos se planteaba un gran objetivo general: "Lograr una formación humanística, científica, técnica y artística que permita al educando afrontar las situaciones de la vida con espontaneidad, seguridad en sí mismo y economía de esfuerzo". La educación secundaria se ajustó a un programa por objetivos y se propuso un nuevo sistema que consideraba la globalización de áreas que comprendían materias afines. De esta manera se propuso un sistema en que las asignaturas de física, química y biología se agrupaban en una sola materia llamada Ciencias Naturales con la justificación de que: "Los fenómenos naturales no se producen aisladamente: el adolescente los observa, se ve afectado por ellos, y en muchos casos, forma parte integral de estos fenómenos" (SEP, 1991a)

En una crítica hacia estas reformas López (1979) señaló que los objetivos que estos programas seguían una línea academicista orientada hacia la obtención de conocimientos como valores en sí mismos. Asimismo se señala que existía disfuncionalidad entre los diferentes niveles de objetivos planteados y una secuencia poco ordenada. Las líneas experimentales carecían de hipótesis y la cantidad de actividades sugeridas resultaba abrumadora. Por otro lado Granados (1982) destaca el hecho de que los objetivos generales de los programas no tenían un sustento que permita su cumplimiento en el desarrollo de los temas y hace notar que existían secuencias en las que contenidos que necesariamente deberían ser antecedentes de otros se presentaban en etapas posteriores. En cuanto al tratamiento de Ciencias Naturales se señala el

hecho de que si bien formalmente agrupaba de manera interdisciplinaria a tres materias, en muchos casos las unidades carecían de este concepto interdisciplinario y presentaban temas de física, química o biología de manera aislada.

Una posible medida de la relevancia que a la enseñanza de la ciencia se le otorgaba podría ser la del número de horas semanales destinadas a la enseñanza. En este nuevo programa por áreas, Ciencias Naturales junto con Ciencias Sociales recibieron el mayor número de horas semanales (7) comparadas con el resto de las materias. Sin embargo, de manera incomprensible, algunas instituciones educativas (con el aval de SEP) siguieron manejando el sistema de asignaturas, generando de esta manera una política ambigua en cuanto a la concepción de los contenidos científicos (SEP, 1991 b)

A pesar de que uno de los objetivos de los Acuerdos de Chetumal, (SEP, 1991a), era el de "desterrar el enciclopedismo de los contenidos programáticos", los programas de Ciencias Naturales de ninguna manera cumplieron con este propósito y se convirtieron en un instrumento que privilegiaba la información sobre la formación. Prácticamente todos los investigadores que han reflexionado sobre los problemas de la Educación Media en los últimos quince años se han percatado de ese problema.

El sistema normalista que se encarga de producir a la mayoría de los maestros de este país, no tiene ninguna vinculación funcional con los centros de investigación científica. La transmisión está notablemente separada de la producción, lo que determina que los conocimientos impartidos muchas veces carezcan de la actualización debida. Un examen diseñado para alumnos de sexto de primaria que incluía materias como Español; Matemáticas; Ciencias Naturales; Ciencias Sociales y conocimientos en general se aplicó a más de 2000

maestros de primaria. La materia en la que los docentes obtuvieron el promedio más bajo (7.5) fue Ciencias Naturales, en donde se detectaron lagunas serias en la claridad de algunos conceptos elementales como el de la función del sistema nervioso (Guevara 1992b).

Un nuevo intento por actualizar los programas de enseñanza fue generado nuevamente en 1989 a través del Programa de Modernización Educativa que aparentemente era el resultado de una consulta con todos los sectores de la sociedad y en la que según datos de la SEP se presentaron más de sesenta mil ponencias. Dentro de este programa se marcaban para el área de Ciencias Naturales durante todo el proceso de enseñanza de secundaria seis grandes aspectos: Materia y Energía, Situación Geográfica, Litósfera, Hidrósfera, Atmósfera y los Seres Vivos. Estos contenidos contrastan notablemente con el principal objetivo planteado: apreciar el valor del método científico en el estudio e investigación de las Ciencias Naturales ya que sólo de manera muy limitada se presentaba el desarrollo de la conceptualización y en cambio se enfatizaba la importancia de recordar el concepto (SEP, 1991c).

Aunados a los problemas de elección de modelos educativos existen otros obstáculos como el hecho de que las sugerencias didácticas se limiten a un terreno obvio y superficial ("considerar el desarrollo biopsicosocial, considerar la utilización de distintos procedimientos didácticos" etc.) Por otro lado, es muy poco el apoyo real con el que cuentan los docentes, las inspecciones frecuentemente se han planteado como mecanismos de control a través de los cuales se vela por el respeto irrestricto a los contenidos programáticos. Esta falta de criterio en la evaluación del cumplimiento docente, obliga a los maestros a cumplir con un sistema que puede ser ineficiente pero evita los problemas asociados a una evaluación negativa.

La propuesta de modernización planteó la necesidad de generar mecanismos interdisciplinarios que permitieran al alumno comprender que los procesos son generalmente globales y no productos aislados e independientes. Asimismo, se presentaron objetivos aparentemente bien intencionados como: "promover el paso de contenidos informativos que susciten aprendizajes fundamentalmente memorísticos a aquellos que aseguren también la asimilación y recreación de valores, el dominio y uso cada vez más preciso y adecuado tanto de los diversos lenguajes de la cultura contemporáneas como de métodos de pensamiento y acción que han de confluir en el aprendizaje". Sin embargo, en notable contraste, el programa para biología en primero de Secundaria regresó al uso de contenidos cuya apropiación es evidentemente memorística como la localización y funciones de los sistemas del cuerpo humano. (SEP, 1991a; 1992a)

Ni este modelo educativo ni los anteriores contemplaron la significancia del aprendizaje. El conocimiento significativo es aquel que consiste en entender en lugar de memorizar, tiene lugar cuando una experiencia de aprendizaje es asimilada por la estructura cognoscitiva del aprendiz. La estructura cognoscitiva es producto de las experiencias vividas y constituye, a su vez, el campo semántico estructural que nos permite codificar y decodificar los elementos de las nuevas experiencias. La interpretación que hacemos de los estímulos que recibimos del ambiente es una función de nuestra estructura cognoscitiva. Es en el significado de lo que se aprende donde está la motivación principal del conocimiento. El conocimiento es importante no, en y por sí mismo, sino en la medida en que permite explicar la realidad vivida (Tirado 1986).

La significatividad del aprendizaje está directamente vinculada con su funcionalidad: que los conocimientos aprendidos (hechos, conceptos, destrezas o habilidades, valores, actitudes,

normas, métodos, etc.) puedan ser efectivamente utilizados cuando las circunstancias en las que se encuentre el alumno así lo exijan. Cuanto mayor sea el grado de significatividad del aprendizaje realizado, tanto mayor será su funcionalidad, pues podrá relacionarse con un abanico más amplio de nuevas situaciones y nuevos contenidos (Coll 1987)

A principios de 1992 se produjo un cambio importante. El esquema de áreas se modificó y se optó por un sistema de asignaturas (muy similar al que prevalecía antes de la reforma de 1974). En esta propuesta, la enseñanza de la ciencia se redujo a 3 horas de biología en primero de secundaria, 3 horas en segundo de secundaria y 6 horas de física y química en el tercer nivel. Esto implicó una reducción de más del 50% en el número de horas destinadas a esta materia con respecto al sistema anterior (SEP, 1992a).

La propuesta educativa de SEP reflejaba varios problemas donde destaca nuevamente la priorización del conocimiento enciclopédico sobre el análisis de los contenidos. Las finalidades educativas del programa de biología eran las siguientes:

- “Profundización del conocimiento y comprensión de los fenómenos naturales, del mundo y de la vida en una etapa importante como es la adolescencia”.
- “Desarrollo de un pensamiento crítico, reflexivo y creativo”.
- “Participación activa y responsable en la conservación del equilibrio ecológico”.
- “Fortalecimiento del desarrollo físico y mental a través de prácticas deportivas recreativas y culturales”.
- “Desarrollo de la capacidad de indagación y consulta de diversas fuentes de información científica y tecnológica para favorecer la investigación y el autoaprendizaje”. (SEP, 1991).

Un análisis de estos objetivos indica varios problemas de estructura. En el primer caso existía una gran vaguedad en el planteamiento ya que no se explicaba de qué manera se lograría esta profundización ni la pertinencia de su introducción en la etapa adolescente. En ningún momento el programa permitió determinar cómo el estudiante obtendría el beneficio de un "pensamiento más crítico, reflexivo y creativo" finalidad, desde luego, altamente deseable pero que en este contexto aparentaba ser un elemento retórico. Tampoco a lo largo del programa se hacía ninguna mención a los procesos de deterioro ambiental que sufre el planeta -coyuntura ineludible en biología- lo que no permitía suponer cómo el estudiante desarrollaría conductas de "participación activa y responsable en la conservación del equilibrio ecológico". Por último la generación de técnicas de investigación documental parecería ser nuevamente un elemento retórico que una verdadera finalidad del programa de biología. No existían de manera explícita intenciones de desarrollar habilidades documentales en el estudiante en ninguna parte del programa y podría pensarse que si estas se dieran sería como producto de un esfuerzo individual.

En cuanto a lo lineamientos didácticos, la propuesta de programa nuevamente se mantuvo en un nivel de generalidad vago y difuso que difícilmente podría ser usado por ningún maestro para preparar su curso. Las recomendaciones eran en algunos casos de una gran obviedad como "que el alumno pueda observar de los fenómenos naturales y llevar a cabo experimentos, elaborar hipótesis..." o "el trabajo de campo, las actividades experimentales en el laboratorio escolar, la demostración-discusión, son las estrategias metodológicas para un aprendizaje dinámico de la biología". En cuanto al laboratorio los lineamientos planteaban: "se evitará usar técnicas rutinarias que evitan aprovechar plenamente las bondades formativas de estas actividades. Las limitaciones y carencias en el laboratorio escolar no serán obstáculo para que el maestro

planifique con sus alumnos experiencias de aprendizaje en las que observe y experimente". En este caso la SEP se deslindaba de su responsabilidad como el organismo institucional encargado de dar verdaderos lineamientos, para ofrecer, alternativamente, una fórmula que dependía prácticamente en la inventiva del maestro sobre cuyos hombros descansa en consecuencia la solución de problemas que excedían su responsabilidad.

No se trata, por supuesto, de limitar la creatividad docente. Sin embargo, es claro que la autoridad tiene la responsabilidad de dar líneas más precisas y si no lo hace no sería descabellado suponer que esto se debe a que no ha estudiado el problema a fondo y, en consecuencia, no tiene una solución que ofrecer.

### **2.2.1 El programa emergente de biología de primero de secundaria 1992-1993 (SEP, 1992a)**

El discurso con el que iniciaba la presentación del programa de biología aseguraba que los contenidos han sido: "ordenados en forma lógica y pedagógica".

En la presentación de objetivos se establecía que: "se proponen promover cambios cognoscitivos y formativos del educando para que su participación en la sociedad y en el medio natural sea reflexiva, crítica y creativa". Los objetivos particulares de aprendizaje eran los siguientes:

Que el alumno de primer grado:

—Advierta que en la naturaleza existe una gran diversidad de formas, estructuras y funciones de la materia viva, y comprenda que la biología es la ciencia que estudia los seres vivos.

—Utilice los procedimientos del método experimental en la solución de problemas y comprenda su importancia.

—Identifique a la célula como la unidad estructural y funcional de los seres vivos, y comprenda cómo se organiza en niveles más complejos.

—Comprenda que su cuerpo presenta una organización que corresponde a un nivel de complejidad mayor entre los seres vivos.

—Reconozca las funciones que realizan los seres vivos para mantener la vida, en particular las de su propio organismo.

—Valore la importancia del funcionamiento adecuado de su cuerpo.

—Comprenda los mecanismos que aseguran la continuidad y transformación de los seres vivos, así como el proceso de evolución orgánica.

—Entienda que el hombre es producto de los procesos de evolución y está sujeto a ellos.

—Desarrolle a través del conocimiento de su cuerpo, hábitos, destrezas y valores que le permitan conservar su salud física y mental.

—Se convierta en promotor de la salud dentro de su núcleo familiar y su comunidad.

En cuanto a los lineamientos didácticos se recomendaba al maestro "preparar minuciosamente las actividades, adecuándolas a las características de los educandos, a las condiciones y necesidades del plantel educativo, así como de la localidad en que se encuentre". También se sugería que el maestro "informe al grupo sobre los contenidos y la forma de llevarlos a cabo", así como "establecer un papel de orientador, para que el alumno, a partir de sus ideas, suposiciones, preceptos y experiencias, adquiera sus conocimientos".

Se recomendaba también "el trabajo de campo, las actividades experimentales en el laboratorio escolar, la investigación y la demostración, así como la discusión en el salón de clases". Asimismo "se deberá acudir al laboratorio el mayor número de veces posible. Debe evitarse el empleo de técnicas rutinarias que limiten el aprovechamiento de este tipo de actividades." Se planteaba que "las limitaciones y carencias en el laboratorio escolar no deberán ser obstáculo para que el maestro planifique con sus alumnos experiencias de aprendizaje en las que puedan observar y experimentar. Estas experiencias de aprendizaje pueden lograrse a través de la demostración y la discusión y con materiales sencillos y de fácil adquisición que reflejen el ingenio y creatividad de los alumnos."

En las sugerencias por unidad se planteaba:

#### Para la Unidad I

—Se sugiere que se planeen y desarrollen actividades que coloquen al alumno en condiciones de observar la variedad de organismos de su entorno. Actividades que se complementarán con lecturas en libros y revistas especializadas.

—Se propone que la adquisición del método experimental es todo un proceso que el alumno hace propio paulatinamente, puesto que esta apropiación constituye una acción de alto valor formativo, conviene diseñar actividades para que el alumno aplique los procedimientos del método experimental y obtenga conocimientos por medio del redescubrimiento de ellos.

—Se propone que el conocimiento de la obra, los esfuerzos y las actitudes de investigadores notables a través de lecturas, videos y películas (...) contribuirán a que el alumno valore el trabajo científico.

#### Unidad II y III

—Se trata la unidad estructural y funcional de los seres vivos, los niveles de organización, con énfasis en el hombre como ente biológico. Se recomienda manejar los contenidos de forma sencilla y accesible, y utilizar lo más posible técnicas de laboratorio para el desarrollo de los contenidos, realización de trabajos de investigación y análisis en grupo, así como trabajos manuales, jornadas científicas y periódicos murales.

#### Unidad IV

—Es recomendable realizar preferentemente investigaciones y mesas redondas, en los que se analice y discuta a nivel de equipo y grupo la trascendencia de los procesos señalados en los contenidos; también debe favorecerse la realización de experimentos, así como llevar a cabo jornadas científicas, y la elaboración de maquetas, periódicos murales etcétera.

## Unidad V

—Contempla aspectos referentes a la salud, busca favorecer y propiciar las campañas de higiene y salud en beneficio de la población, visitas a hospitales, a centros de información, exposiciones, etc., a fin de que el alumno despliegue toda su iniciativa para comprender él mismo la importancia que reviste el cuidado y preservación de la salud.

### *Sugerencias de evaluación*

En esta sección se sugiere que: "el maestro responsable de la evaluación tomará en cuenta el desempeño de los educandos en las experiencias de aprendizaje que les coloquen en situaciones de observar fenómenos naturales, experimentar, indagar, participar en solución de problemas, apreciar críticamente, crear, practicar hábitos de orden y limpieza y desarrollar actitudes de preservación de su salud y del medio ambiente. Las técnicas que se sugieren son: la observación, la entrevista, el interrogatorio, las técnicas grupales, y todas aquellas que le permitan apreciar el desenvolvimiento de los alumnos en relación de las actividades planeadas. Los instrumentos que puede utilizar el maestro, siempre en forma racional y de acuerdo con las características de los educandos y la naturaleza de la materia, son entre otros: el cuestionario, el cuaderno de trabajo, la guía de trabajo de laboratorio, el reporte del mismo, el diseño y construcción de materiales, realización de investigaciones, presentación de temas investigados, etcétera."

### *Guía para el maestro (SEP, 1992b)*

Este es un documento que se proponía como "auxiliar del trabajo magisterial, a los nuevos contenidos y materiales educativos". Cuenta con 47 páginas. Contiene una sección de orientaciones generales en el que se propone como primera actividad la planeación que puede

ser, del curso, de unidad didáctica o de clase. Dentro del rubro de orientaciones didácticas se recogen las siguientes sugerencias:

—Los temas del programa deben adecuarse al tiempo disponible, a los intereses de los alumnos, a las condiciones del plantel y al medio donde se encuentra éste.

—De acuerdo con su ingenio y creatividad, el profesor planeará y organizará sus actividades frente al grupo.

—Usará los recursos del medio.

—Dosificará y jerarquizará los temas.

—Estimulará el interés del alumno a través de prácticas experimentales.

—Propiciará la participación del grupo usando técnicas adecuadas.

—Realizará visitas a lugares que se encuentre en la vecindad del plantel y que estén relacionados con la temática del programa.

—Iniciará el alumno en la investigación documental de laboratorio y de campo.

—Tomará como punto de partida los antecedentes de la educación Primaria ya que son las bases para no partir de cero en el desarrollo del programa.

La guía explicaba luego que existen procedimientos verbales, de experimentación y de lectura. Enlista a continuación una serie de estrategias y materiales de trabajo acompañados con una breve descripción:

—El libro de consulta

—Los medios audiovisuales

—Las colecciones

—Actividades extraescolares

- Escuela y entorno social
- Las prácticas de campo
- Cuaderno personal de trabajo
- El periódico escolar
- Jardín botánico
- Terrarios, acuarios o insectarios
- Laboratorio

La guía concluía con una serie de sugerencias específicas para el tratamiento de los temas y una lista de sugerencias bibliográficas.

#### *El programa<sup>3</sup>*

El análisis de la propuesta educativa de la SEP para biología en 1992 refleja un gran número de problemas: a pesar de que se argumenta que la selección de contenidos “se ha ordenado en forma lógica y pedagógica”. Algunos de ellos son:

- No existe una argumentación que justifique esta secuencia ni esta elección.
- No existe un desglose de los contenidos que permita interpretar cuáles son las particularidades de cada tema que deben ser analizadas.
- Existe un claro sesgo funcional. Los mecanismos biológicos fundamentales son estudiados en su totalidad en la cuarta Unidad. En cambio, se invierten dos Unidades en la explicación de procesos celulares y funciones biológicas.
- No existe información sobre procesos ecológicos.

---

<sup>3</sup> Para el programa completo ver Apéndice 2

—La secuencia de contenidos parece responder más a una costumbre que a un diseño previo ya que establece contenidos antecedentes en zonas más avanzadas del programa.

—El programa abarca temas esenciales como genética, origen de la vida y evolución que por sí mismos deberían formar unidades independientes.

#### **Unidad I. El mundo vivo y la ciencia que lo estudia**

Esta unidad que introduce el curso inicia con un análisis de la diversidad del mundo vivo, tema que podría ubicarse con más pertinencia dentro del origen de la vida y evolución que se analizarán más adelante. El programa luego recomienda estudiar las técnicas de investigación en biología enfatizando la idea de que el conocimiento científico es relativo. Finalmente se pretende que se explique el trabajo de científicos con aportaciones notables dentro de la biología como Aristóteles, Linneo, Mendel y otros.

En este caso quizá sería mejor plantear la Unidad tratando de dar una visión de la historia de la biología como ciencia ya que a través de un manejo biográfico, como el que pretende el programa, parecería que son las coyunturas de la investigación las que rigen y agrupan el pensamiento biológico en lugar de exponer la idea de que la biología es una ciencia en avance constante que brinda un marco conceptual para el trabajo de sus investigadores.

#### **Unidad II. Células, tejidos y órganos**

En esta unidad se pretende desarrollar la idea de que los seres vivos están formados por células y se organizan en niveles más complejos. Se habla de seres acelulares (sic) y celulares y se sugiere que se explique como funcionan los virus, las bacterias, las plantas y los animales.

Dado el tiempo asignado este objetivo sólo puede cumplirse de forma muy superficial. Posteriormente se sugiere que se explique cuál es la estructura y funciones de la célula. Desde luego sería mucho más lógico incluir en primer lugar este concepto como un antecedente para poder fundamentar las explicaciones sobre los diferentes tipos de organismos. Se habla más adelante de los tejidos de plantas y animales y se pide que se explique su función de manera general, luego se debe hacer lo mismo con los órganos de plantas y animales para seguir la lógica de célula-tejido-órgano-sistema. Finalmente el programa propone la localización y función general de 10 sistemas del cuerpo humano (respiración, circulación etc.). La estructura de esta propuesta determinaría seguramente que los docentes se enfrascaran en un recuento memorístico sobre una gran cantidad de información que no se presenta dentro de un marco contextual. Mucho más útil sería diseñar la explicación de los conceptos a partir de experiencias que los estudiantes vivan cotidianamente y que les ha permitido apreciar que los seres vivos presentan estas funciones. Sin embargo, tradicionalmente las propuestas educativas ignoran por completo la necesidad de un marco contextual y significativo que permita ubicar la información que se desea presentar.

### **Unidad III. Funciones biológicas**

En esta unidad se explican los procesos fisiológicos que rigen a los seres vivos. Divididas en funciones vegetales y funciones animales. Dentro de los vegetales se indica que se debe estudiar la fotosíntesis y dentro de los animales funciones como nutrición, respiración, circulación y excreción. Esta distinción seguramente determinará en el alumno conceptos erróneos tales como que en las plantas no ocurren estos procesos funcionales. El igualar como procesos equivalentes funciones como la fotosíntesis vegetal y las funciones animales es un error

grave. Sería mucho más lógico y pertinente ubicar a la fotosíntesis dentro de un contexto ecológico en el que se estudian los efectos que su aporte de energía determina en las comunidades de plantas y animales. Sin embargo, no existe en todo el programa ninguna mención a procesos ecológicos como cadenas alimentarias o estudios poblacionales o de comunidades, o dinámicas climáticas, de hecho la Ecología (quizá la rama con más posibilidades de contacto significativo con los estudiantes) ha sido proscrita del programa, esta es una omisión muy grave.

#### **Unidad IV. Continuidad y transformación: herencia y evolución**

Esta unidad inicia con el estudio del origen de la vida a través de la teoría de Oparin y luego avanza hacia el desarrollo de la vida en las diferentes eras geológicas. El siguiente tema es herencia biológica, luego evolución biológica y por último evolución humana.

Esta estructura si bien presenta temas ligados está completamente desarticulada ya que, por ejemplo, se le presentan al estudiante los cambios ocurridos a lo largo de las diferentes eras geológicas sin el antecedente evolutivo que le permita comprender el principio y la naturaleza de estos cambios. Por otro lado el tema de la evolución es desde muchos puntos de vista aquel que tiene mayor generalidad dentro de los estudios biológicos. Ya se ha discutido anteriormente acerca del poder unificador que tiene la teoría darwiniana y cómo prácticamente todas las ramas de la biología se han visto de alguna manera influenciadas y modificadas por los supuestos encontrados a partir de la síntesis evolutiva. De acuerdo con los trabajos de Ausubel (1984) que habla de procesos de integración de conceptos particulares a un contexto más general, sería necesario iniciar por conocer en primer lugar las propiedades características de los seres vivos y avanzar con el tema de evolución en las primeras unidades del programa de biología.

#### **Unidad V. Salud humana**

Esta unidad abarca aspectos de nutrición, salud y adicción, así como aspectos de higiene mental. Resulta interesante observar como la propuesta rescata fórmulas ya usadas como la inclusión de estos temas en los programas de biología (como en 1928) ya que de alguna manera este hecho representa la aleatoriedad y circularidad histórica de los programas propuestos.

En cuanto al tema de evolución, se puede considerar que en esta nueva propuesta educativa ha adquirido un valor completamente marginal ya que de ocupar tres unidades en el pasado, ahora se encuentra de manera muy limitada en el contexto de una unidad. Seguramente en el diseño de la propuesta no se establecieron consideraciones acerca de la importancia de este tema como un elemento unificador de los procesos biológicos.

#### **Enfoque**

Pese a que el enfoque señalaba la "necesidad de fomentar hábitos valores y actitudes, de promover cambios cognoscitivos y formativos del educando", no existe en la propuesta un mecanismo que permita entender la viabilidad de estas ideas dentro de esta propuesta, que se convierten en compromisos retóricos sin un sustento adecuado. El enfoque que se presenta no discute las líneas que se debían desarrollar ni el modelo educativo que dio origen a la propuesta.

En cuanto a los objetivos de aprendizaje, existen algunos elementos preocupantes; la propuesta de que el alumno "utilice los procedimientos del método científico en la solución de problemas y comprenda su importancia" sugiere una visión paradigmática del método científico que ignoraba la presentación de procesos metodológicos propios de la biología como la comparación y la observación. No existe, por otro lado, una aparente justificación para que el alumno "comprenda que su cuerpo presenta una organización que corresponde a un nivel de

complejidad mayor entre los seres vivos" ¿qué se pretende al establecer este objetivo? Aparentemente mantener coherencia con el avance de cada unidad. Otro de los objetivos es el de comprender el proceso de evolución orgánica y entender que el hombre es producto de estos procesos. Sin embargo, el tema evolutivo está presentado de manera muy marginal en la Unidad IV.

Por lo que respecta a los lineamientos didácticos, éstos se manejan en un nivel en el que dada su obviedad difícilmente resultan útiles. Aparentemente la línea institucional no ha trascendido los *qués* para buscar los *cómos*. En ese sentido, el problema es que se instruye al profesor para que planifique su curso, recomendación carente de sentido educativo si no es acompañada con una propuesta de cómo hacerlo. Por otro lado, en ningún momento se reconoce la importancia de determinar el conocimiento previo que el alumno manejaba, aspecto indispensable en la teoría educativa moderna.

Se le indicaba al maestro que las estrategias metodológicas en biología son: el trabajo de campo, las actividades experimentales, el laboratorio escolar, todas ellas herramientas que, desde luego, el maestro conoce. Sin embargo, no existe un elemento situacional, que permita que toda esta información adquiera sentido. Si por ejemplo, existen limitaciones y carencias en el laboratorio escolar, un recurso estéril, retórico y hueco es pedirle que "se desarrollen materiales sencillos de fácil adquisición que reflejan el ingenio y la creatividad de los alumnos". En este caso la responsabilidad educativa institucional, se delega en el ingenio de los estudiantes o los docentes que en la mayoría de los casos no cuentan ni con los recursos ni con el tiempo para desarrollar este trabajo.

Las sugerencias de tratamiento por Unidad no escapan a este problema; se recomienda “manejar los contenidos de manera sencilla y accesible o realizar investigaciones y mesas redondas” en un nivel de vaguedad ejemplar. La guía del profesor, el documento donde supuestamente se encuentra la mayor explicitación de ninguna manera cumplía este propósito y mantenía un tono discursivo superficial y ambiguo.

Las orientaciones didácticas, elementos que supuestamente el maestro utilizará para estructurar sus cursos, se convirtieron en una serie de recomendaciones intrascendentes como: (el maestro) “propiciará la participación del grupo usando las técnicas adecuadas”. En ningún momento se explicitaba cuáles eran los antecedentes de la educación primaria que le permitirían al maestro no partir de cero en el desarrollo del programa. Las estrategias y materiales de trabajo eran obvias. Pretender que un maestro no tenga claro que puede usar medios audiovisuales o un libro de consulta es ignorar deliberadamente su capacidad. Las recomendaciones bibliográficas eran limitadas en número y contenido y no parecían responder de manera directa a los contenidos revisados.

En síntesis, el programa y la propuesta didáctica de biología no parecían ser el resultado de una reflexión que involucrara experiencias, procesos de investigación educativa y una reflexión sobre la naturaleza de la biología. Podría pensarse que representaba un ejercicio coyuntural, una propuesta “para salir del paso” lo que, debería preocuparnos considerando que tenía un alcance nacional y representaba la naturaleza de enseñanza de la ciencia que nuestro gobierno estaba dispuesto a ofrecer.

### **2.3 Las diversas propuestas de enseñanza de la ciencia en el contexto mundial**

La concepción del conocimiento científico como un conjunto de verdades definitivas o la idea de que la ciencia es fundamentalmente método, ha perdido hace tiempo su vigencia, aunque siga considerándose como tal en nuestras aulas. es pues necesario incorporar a los sistemas educativos una concepción de la ciencia más acorde a las investigaciones actuales. La consideración de la ciencia como proceso en construcción que se modifica en el marco de las diversas teorías científicas, dando importancia al planteamiento de problemas y a la emisión de conjeturas, supone un cambio trascendental en el proceso de enseñanza que se sigue actualmente.

Pare establecer un análisis comparativo de los modelos curriculares en diversos países se ha recurrido a las tres fuentes que sugieren Nieda y Cañas (1992): la fuente epistemológica, la psicológica y la social.

Dentro de la fuente epistemológica se han considerado tres concepciones de ciencia:

- a) Ciencia acumulativa (Transmisión-recepción).- Entendida como aquella concepción del trabajo científico como un producto terminado.
- b) Ciencia como método (Descubrimiento autónomo).- Entendida como la concepción de ciencia que transmite un método de trabajo.
- c) Ciencia como cuerpo de conocimientos en construcción (Constructivista).- Entendida como la concepción del conocimiento científico en constante transformación y revisión.

Dentro de la fuente psicológica se han considerado tres maneras de explicar cómo aprenden los estudiantes:

a) La concepción del estudiante como un pizarrón en blanco.- En ésta visión, se asume que el que aprende absorbe acumulativamente los conocimientos que se le transmiten sin que influyan sus propias experiencias.

b) La concepción del estudiante que aprende en función de su grado de desarrollo.- En ésta visión se asume que el estudiante atraviesa por estadios de desarrollo que determinan lo que aprenderá.

c) La concepción del estudiante con ideas previas respecto a lo que aprenderá.- En ésta concepción se tiene, como premisa fundamental, que las ideas del que aprende son determinantes y que aprender es, en gran medida realizar cambios conceptuales y reestructuraciones en nuestra mente.

Dentro de la fuente social las decisiones curriculares deben analizar la realidad y las necesidades sociales y económicas de un país.

#### *Los modelos en Iberoamérica*

Un análisis curricular de los planes y programas de los países iberoamericanos nos arroja los siguientes resultados (Nieda y Cañas, 1992):

*Fuente epistemológica*

	Modelo:		
	<i>Transmisión-recepción</i>	<i>Descubrimiento</i>	<i>Constructivista</i>
Argentina		XX	
Bolivia		XX	
Brasil			XX
Colombia			XX
Cuba	XX		
Chile		XX	
R. Dominicana		XX	
Ecuador		XX	
España			XX
Guatemala		XX	
Honduras		XX	
México*			XX
Panamá		XX	
Nicaragua		XX	XX
Paraguay		XX	
Perú		XX	
Portugal			XX
Puerto Rico		XX	
El Salvador		XX	
Uruguay		XX	
Venezuela			XX

\* En todos los casos se hace referencia al modelo actual que inició en 1993

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

*Fuente psicológica*

Modelo:			
	Tabla rasa	Plagietano**	Preconceptos**
Argentina		XX	
Bolivia	No hay referencias explícitas		
Brasil			XX
Colombia		XX	
Cuba		XX	
Chile		XX	
R. Dominicana	No hay referencias explícitas		
Ecuador		XX	
España			XX
Guatemala	No hay referencias explícitas		
Honduras	No hay referencias explícitas		
México			XX
Nicaragua			XX
Panamá			XX
Paraguay		XX	
Perú		XX	
Portugal			XX
Puerto Rico	No hay referencias explícitas		
El Salvador		XX	
Uruguay		XX	
Venezuela			XX

\*\* No son estrictamente excluyentes. Sin embargo, se señalan las diferencias cuando estas son manifiestas en algún país.

### *Fuente social*

Todos los países hacen alusiones al carácter funcional de la ciencia a fin de que sea útil para los ciudadanos y el desarrollo del país.

### *Análisis*

Resulta muy interesante observar cómo en todos los países que consideran a la ciencia como un proceso en construcción, se manifiesta la importancia de considerar las preconcepciones de los estudiantes, aspecto que sugiere el desarrollo e implementación de los hallazgos de la investigación educativa dentro de sus propias propuestas curriculares, como en el caso mexicano

En cuanto a la fuente social, es claro que se reconoce la importancia de vincular los conocimientos adquiridos en el aula con problemas sociales que le permitan al estudiante significar la información que se le presenta.

A continuación se presenta el número absoluto de horas que se destinan a la enseñanza de la biología y que pueden sugerir el peso de esta disciplina en el mapa curricular de la enseñanza secundaria en cada país.

**Horas semanales destinadas a la enseñanza de la biología (en el caso de Brasil se da en porcentaje; cn = ciencias naturales, (es decir, el sistema es por áreas en las que se imparte biología, física y química en la misma materia)**

	<b>Año de la última reforma</b>	<b>horas</b>
Argentina	1983	9
Bolivia (cn)	1973	12
Brasil (cn)	1986-88	15 %
Colombia (cn)	1991	12
Cuba	1991	6
Chile	1984	5
R. Dominicana (cn)	1984	8
Ecuador (cn)	1978	no hay datos
España (cn)	1991	no hay datos
Guatemala (cn)	1987	15
Honduras (cn)	1975	15
México	1993	5
Panamá (cn)	1982	14
Nicaragua	1991	10
Paraguay (cn)	1986	4
Perú (cn)	1991	8
Portugal	1992	no hay datos
Puerto Rico	1990	5
El Salvador (cn)	1988	no hay datos
Uruguay	1986	7
Venezuela	1987	8

**No se incluyen en biología los cursos independientes de educación para la salud, ni los casos en que existan curso de ciencia integrada que luego se diferencian en asignaturas.**

### *Análisis*

En general, las ciencias ocupan el tercer lugar en el marco del sistema educativo, detrás de español (o portugués) y matemáticas. Esto obedece a las recientes tendencias de privilegiar aquellas disciplinas que brinden herramientas cotidianas al estudiante, como el leer y escribir o realizar operaciones elementales. Sólo en casos aislados, las ciencias tienen un menor número de horas que las que se destina para la enseñanza de la historia. En algunos países el modelo de enseñanza es por asignaturas y en otros por áreas.

### *Criterios de selección y secuencia de los contenidos*

#### **Argentina**

Selección.- No aparecen criterios de selección

Secuencia.- De acuerdo a la lógica interna de las disciplinas

#### **Bolivia**

Selección.- Conocimiento de los recursos del país

Secuencia.- De lo concreto a lo abstracto

#### **Brasil**

Selección.- En torno a conceptos relevantes como materia y energía

Secuencia.- Organizadores avanzados

#### **Colombia**

Selección.- En torno a conceptos unificadores

Secuencia.- De acuerdo al nivel de desarrollo psicobiológico del alumno

#### **Cuba**

Selección.- La que viene impuesta por cada disciplina

Secuencia.- La estructura lógica de la disciplina

#### **Chile**

Selección.- Contenidos funcionales dirigidos a mejorar la calidad de vida

Secuencia.- El eje de secuencia es el organismo humano

**República Dominicana**

Selección.- Salud y medio ambiente

Secuencia.- No se aprecian criterios

**Ecuador**

Selección.- Educación sanitaria

Secuencia.- En espiral

**España**

Selección.- Enfoque funcional

Secuencia.- La lógica de la disciplina, el desarrollo psicológico, la consideración de las preconcepciones, de lo general a lo específico.

**Guatemala**

Selección.- Equilibrio entre funcionalidad de los contenidos y la lógica de las disciplinas

Secuencia.- No se aprecian criterios

**Honduras**

Selección.- En función de núcleos integradores

Secuencia.- Los núcleos integradores sirven de base para la secuencia

**México**

Selección.- Equilibrio entre funcionalidad de los contenidos y la lógica de la disciplina

Secuencia.- Organizadores avanzados

**Nicaragua**

Selección.- Contenidos giran alrededor de cuatro conceptos: materia, energía, interacción y cambio.

Secuencia.- De lo concreto a lo abstracto

**Panamá**

Selección.- Necesidades sociales

Secuencia.- Secuencia cíclica

**Paraguay**

Selección.- Contenidos que toman en cuenta los intereses de los alumnos

Secuencia.- Secuencia de lo simple a lo complejo

**Perú**

**Selección.- En función de núcleos generales**

**Secuencia.- Secuencia libre determinada por la elección de proyectos**

**Portugal**

**Selección.- En torno a temas organizadores**

**Secuencia.- Organizadores**

**Puerto Rico**

**Selección.- Conceptos clave, básicos para todas las ciencias**

**Secuencia.- Secuenciados en torno a los núcleos descritos**

**El Salvador**

**Selección.- Prioridad a los contenidos relativos al entorno**

**Secuencia.- Por orden creciente de complejidad**

**Uruguay**

**Selección.- No aparecen criterios de selección**

**Secuencia.- De acuerdo a la lógica de la disciplina**

**Venezuela**

**Selección.- En torno a ejes organizadores**

**Secuencia.- No se citan los criterios**

***\*Modelo actual***

***Análisis***

Es posible apreciar en prácticamente todos los países una selección de contenidos funcionales, de alto significado social. Sólo dos países (México y Guatemala) presentan una selección de contenidos que mezclan esta necesidad funcional con los criterios lógicos de la disciplina. En cuanto a la secuencia existe una gran diversidad de alternativas; algunos países parten de lo simple a lo complejo, otros estructuran su secuencia en función de núcleos y sólo algunos utilizan los organizadores avanzados (ver Ausubel) para secuenciar sus contenidos.

### **Contenidos**

Con el fin de analizar la presentación de contenidos de biología, estos se han agrupado en nueve categorías:

#### **1. Composición química de la materia viva**

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
<b>Argentina</b>		XX	
<b>Bolivia</b>			XX
<b>Brasil</b>	XX		
<b>Colombia</b>	XX		
<b>Cuba</b>			XX
<b>Chile</b>			XX
<b>R. Dominicana</b>		XX	XX
<b>Ecuador</b>		XX	XX
<b>España</b>			XX
<b>Guatemala</b>		XX	XX
<b>Honduras</b>		XX	XX
<b>México</b>		XX	XX
<b>Nicaragua</b>		XX	XX
<b>Panamá</b>		XX	XX
<b>Perú</b>			XX
<b>Paraguay</b>			XX
<b>Portugal</b>		XX	
<b>Puerto Rico</b>		XX	XX
<b>El Salvador</b>		XX	
<b>Uruguay</b>		XX	
<b>Venezuela</b>		XX	XX

## 2. La organización de la vida

	No se trata	Secundaria	Preparatoria
Argentina		XX	
Bolivia		XX	XX
Brasil		XX	XX
Colombia		XX	
Cuba		XX	XX
Chile		XX	XX
R. Dominicana		XX	XX
Ecuador		XX	XX
España		XX	XX
Guatemala		XX	XX
Honduras		XX	XX
México		XX	XX
Nicaragua		XX	XX
Panamá		XX	XX
Perú		XX	XX
Paraguay		XX	XX
Portugal		XX	XX
Puerto Rico		XX	XX
El Salvador		XX	XX
Uruguay		XX	XX
Venezuela		XX	XX

**3. Genética**

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
Argentina		XX	XX
Bolivia	XX		
Brasil			XX
Colombia	XX		
Cuba		XX	XX
Chile			XX
R. Dominicana		XX	XX
Ecuador			XX
España			XX
Guatemala		XX	XX
Honduras			XX
México		XX	XX
Nicaragua			XX
Panamá		XX	XX
Perú			XX
Paraguay			XX
Portugal	XX		
Puerto Rico		XX	XX
El Salvador		XX	XX
Uruguay			XX
Venezuela		XX	XX

**4. Diversidad de los seres vivos**

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
<b>Argentina</b>		XX	
<b>Bolivia</b>		XX	
<b>Brasil</b>		XX	XX
<b>Colombia</b>		XX	
<b>Cuba</b>		XX	XX
<b>Chile</b>			XX
<b>R. Dominicana</b>			XX
<b>Ecuador</b>		XX	
<b>España</b>			XX
<b>Guatemala</b>			XX
<b>Honduras</b>	XX		
<b>México</b>		XX	XX
<b>Nicaragua</b>		XX	
<b>Panamá</b>			XX
<b>Perú</b>	XX		
<b>Paraguay</b>	XX		
<b>Portugal</b>			XX
<b>Puerto Rico</b>		XX	XX
<b>El Salvador</b>		XX	XX
<b>Uruguay</b>			XX
<b>Venezuela</b>		XX	XX

### 5. Fisiología de los organismos pluricelulares

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
Argentina		XX	XX
Bolivia		XX	XX
Brasil		XX	XX
Colombia		XX	
Cuba		XX	XX
Chile			XX
R. Dominicana		XX	XX
Ecuador		XX	XX
España		XX	XX
Guatemala		XX	XX
Honduras		XX	XX
México		XX	XX
Nicaragua		XX	XX
Panamá		XX	XX
Perú		XX	XX
Paraguay		XX	XX
Portugal			XX
Puerto Rico		XX	XX
El Salvador		XX	
Uruguay		XX	XX
Venezuela		XX	XX

**6. Anatomía y fisiología humanas**

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
Argentina			XX
Bolivia		XX	
Brasil		XX	
Colombia		XX	
Cuba		XX	XX
Chile		XX	XX
R. Dominicana		XX	XX
Ecuador		XX	XX
España		XX	XX
Guatemala		XX	
Honduras		XX	XX
México		XX	XX
Nicaragua		XX	
Panamá		XX	XX
Perú		XX	XX
Paraguay	XX		
Portugal		XX	XX
Puerto Rico		XX	XX
El Salvador		XX	XX
Uruguay		XX	XX
Venezuela		XX	

**7. Ecología**

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
Argentina		XX	
Bolivia	XX		
Brasil		XX	XX
Colombia		XX	
Cuba			XX
Chile		XX	XX
R. Dominicana		XX	XX
Ecuador		XX	XX
España			XX
Guatemala		XX	
Honduras		XX	XX
México		XX	XX
Nicaragua		XX	XX
Panamá		XX	XX
Perú		XX	XX
Paraguay		XX	XX
Portugal		XX	XX
Puerto Rico		XX	XX
El Salvador		XX	XX
Uruguay		XX	XX
Venezuela		XX	XX

<b>8. Evolución</b>	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
Argentina			XX
Bolivia	XX		
Brasil			XX
Colombia		XX	
Cuba		XX	XX
Chile			XX
R. Dominicana			XX
Ecuador		XX	XX
España			XX
Guatemala		XX	XX
Honduras	XX		
México		XX	XX
Nicaragua			XX
Panamá		XX	XX
Perú			XX
Paraguay		XX	XX
Portugal		XX	XX
Puerto Rico		XX	XX
El Salvador		XX	
Uruguay			XX
Venezuela			XX

**9. Educación para la salud**

	<b>No se trata</b>	<b>Secundaria</b>	<b>Preparatoria</b>
Argentina			XX
Bolivia		XX	
Brasil		XX	
Colombia		XX	
Cuba			XX
Chile		XX	XX
R. Dominicana		XX	XX
Ecuador		XX	XX
España	XX		
Guatemala		XX	
Honduras		XX	
México		XX	XX
Nicaragua		XX	XX
Panamá		XX	
Perú		XX	XX
Paraguay	XX		
Portugal		XX	
Puerto Rico		XX	
El Salvador		XX	
Uruguay		XX	
Venezuela		XX	

**Análisis**

Varios hechos son destacables: en primer lugar, resulta notable como muchos temas son asignados sólo a un nivel educativo, en segundo lugar es interesante observar cómo la mayoría de los países no abordan el tema evolutivo en la enseñanza secundaria, sin considerar que es el tema

más global e incluso que permitirá la relación con los nuevos temas biológicos. Existen países que simplemente no abordan el tema como Honduras y Bolivia. Otros como Paraguay no tocan el tema de salud. Parecería que los contenidos de orden fisiológico son aquellos que se imparten de igual manera en todos los países analizados.

**El modelo inglés** (Science in the National Curriculum, Department of Education and Science, 1991)

El modelo inglés para la enseñanza de la ciencia se ha dividido en cuatro etapas que se sobrepone: la primera que comprende de primero a tercero de primaria; la segunda, que comprende de segundo a quinto de primaria; la tercera, que comprende de tercero a primero de secundaria y la cuarta que comprende de cuarto a décimo (nuestro equivalente de primero de preparatoria). Para cada etapa el programa se ha dividido en cuatro "declaraciones de logro" o ejes temáticos:

- 1) Investigación científica
- 2) Vida y procesos vivientes
- 3) Los materiales y sus propiedades
- 4) Procesos físicos

En la introducción general a la etapa 4, la que comprendería la enseñanza secundaria, se advierte que el modelo tiene una fuente epistemológica basada en la transformación de los procesos científicos. La fuente psicológica representa una mezcla de la consideración de los niveles de desarrollo y la necesidad de tomar en cuenta las ideas del que aprende. La fuente social se manifiesta de manera explícita y se sugiere que el estudiante "advierta como la ciencia se puede manifestar en una gran variedad de contextos" asimismo se manifiestan

explícitamente una serie de habilidades que se esperan estimular en el estudiante como las de investigar, comunicar, aplicar y usar.

Los criterios de selección de los contenidos giran alrededor de los cuatro ejes temáticos y no se sugiere un ordenamiento particular.

En el caso de los dos ejes que se relacionan de manera directa con el conocimiento biológico (investigación científica y vida y procesos vivientes) se marcan los siguientes objetivos:

*Investigación científica*

El alumno deberá participar en actividades en las que:

- Haga preguntas, predicciones e hipótesis
- Observe, mida y manipule variables
- Interprete sus resultados y evalúe la evidencia científica

*Vida y procesos vivientes*

El alumno desarrollará conocimiento y comprenderá:

- Los procesos de la vida y la organización de los seres vivientes
- La variación y los mecanismos de herencia y evolución
- El papel de las poblaciones y su influencia en los ecosistemas
- Los flujos de energía y materia dentro de los ecosistemas

Como se puede apreciar uno de los ejes pretende desarrollar las habilidades para la investigación y otro presentar información general sobre los procesos biológicos. Es interesante hacer notar que el programa presenta una serie de consignas del tipo: el alumno deberá... que sugieren una conducta esperada al final de la etapa de aprendizaje.

El tema evolutivo se revisa en tercero de secundaria después de que el alumno ha estudiado los procesos fisiológicos de plantas y animales.

#### *Conclusiones*

Parecería que el modelo de enseñanza de la biología que aquí se expone, ha partido de consideraciones en las que hay un aparente consenso en cuanto a su pertinencia de inclusión en una propuesta curricular. Sin embargo, en cuanto al orden de los contenidos, ningún modelo ha reconocido la importancia de los procesos evolutivos como la serie de conceptos globales que permitirán organizar una secuencia de enseñanza.

La enseñanza de la biología requiere todavía de una profunda investigación que permita sistematizar los hallazgos de la investigación educativa dentro de modelos fundamentados. En nuestro país, no existen antecedentes que permitan identificar algún avance dentro del campo de la enseñanza de la biología. Es importante y necesario tratar de deslindar aquellos criterios generales de enseñanza de las ciencias, de aquellos que son particulares y se relacionan con los procesos epistemológicos de cada disciplina. Es importante, también, evaluar los efectos que los nuevos modelos de enseñanza tienen en la formación de estudiantes, ya que sólo con un trabajo fundamentado y sistemático, se podrá lograr alguna mejora de nuestro sistema educativo.

### **2.3.1 Sugerencias para la reorganización del programa de biología en secundaria**

Parecería que se pueden ofrecer tantas definiciones de currículum como trabajos se han generado sobre él. Estebaranz (1994) apunta sobre las necesidades de cada autor de proponer una nueva definición que ofrezca un significado “superior” a los anteriormente planteados. Sin embargo, sí existe cierto consenso en cuanto a la idea de que *currículum* es un término que puede ser entendido como un curso regular de estudios en una escuela. Esta definición es quizá la más sobria y elemental, pero permite, de manera intuitiva, comprender que la organización curricular se refiere a la selección de objetivos, experiencias educativas y mecanismos de evaluación de dichas experiencias. El currículum puede ser entendido en dos acepciones; aquella que los presenta como una prescripción institucional que debe ser atendida en las escuelas y otra que enfoca como principal actor al ambiente escolar en el que se desarrollan las experiencias, es decir la intención y la realidad. Desde luego toda propuesta curricular debe ponderar ambas concepciones ya que estas no son excluyentes sino más bien complementarias. El currículum debe basarse en la práctica y debe ser el producto de lo que se ha observado en las escuelas (Gimeno, 1984).

Un currículum debe ofrecer: (Gimeno, 1984)

*En cuanto a proyecto:*

- Principios para la selección de contenidos
- Principios para el desarrollo de una estrategia de enseñanza
- Principios de secuencia de presentación
- Principios de diagnóstico del conocimiento de los estudiantes

*En cuanto a experiencia:*

—Principios de evaluación

—Orientación acerca de la factibilidad del currículum en diferentes situaciones

—Información sobre la variabilidad de efectos en diferentes contextos

*En cuanto a su justificación:*

—Una formulación de la intención, susceptible de examen

De acuerdo con la opinión de Coll (1987) los componentes del currículum deberán proporcionar información sobre cuatro preguntas fundamentales: *¿Qué enseñar?*; *¿Cuándo enseñar?*; *¿Cómo enseñar?* y *¿Qué, cómo y cuándo evaluar?*. Me parece importante agregar una quinta pregunta: *¿Para qué enseñar?*

Las fuentes que determinan el diseño curricular fundamentado deben ser diversas; es importante incorporar una *fente social*, que nos permita determinar necesidades e intereses concretos de los alumnos; una *fente psicológica*, que nos explica cómo aprenden los alumnos; una *fente epistemológica*, que explica la naturaleza de la disciplina y la *fente pedagógica*, que determina las estrategias didácticas más efectivas (Coll, 1987).

Tradicionalmente la selección de los contenidos que integran los programas de ciencias se ha regido por una tradición que considera los centros de educación básica como instituciones de selección para estudiantes que pueden acceder a una institución superior (Gutiérrez, 1984). Esta visión propedéutica ha determinado que los objetivos educativos se saturan de elementos que supuestamente preparan al alumno para cursos posteriores a los que probablemente nunca accederá.

En los enfoques curriculares tradicionales la enseñanza de las ciencias se planteaba como la presentación de una serie de leyes y fenómenos inconexos. Los nuevos modelos curriculares

buscan secuenciar los contenidos dando coherencia interna. Existen básicamente tres modelos de secuencia de contenidos (Gutiérrez, 1984).

—*Secuencia centrada en la estructura de la disciplina* Los contenidos son secuenciados en torno a ideas-eje o conceptos fundamentales tan significativos que el alumno pueda abordar desde ellos cualquier problema que se relacione con la disciplina.

—*Secuencia centrada en la lógica de los procesos* Los contenidos son secuenciados de modo jerárquico, de acuerdo con una lógica interna o empírica, de manera que el aprendizaje de un concepto o de una habilidad de orden inferior es requisito lógico para el aprendizaje de un concepto o habilidad de orden superior.

—*Secuencia centrada en el método de la disciplina* La secuencia de los contenidos es reflejo del método de la disciplina.

Gutiérrez (1984), plantea, dentro de este contexto de secuenciación de los contenidos, “que las variables fundamentales que condicionan el aprendizaje de los conceptos no son las dependientes de la estructura o del método de una disciplina, sino de las estructuras mentales de las que dispone el sujeto que aprende” y éste —señala— es el punto de vista piagetiano. El problema que explica la falta de apropiación de los contenidos científicos es que el nivel de éstos rebasa las capacidades de los alumnos. Sin embargo, ésta es una visión discutible ya que plantea una visión excluyente entre las diversas aproximaciones y no considera la posibilidad de que sean los métodos de enseñanza más que los contenidos en sí mismos los que generen esta dificultad.

Para Novak (1978) el aprendizaje de los conceptos, entendidos como una descripción de una regularidad entre hechos, debe ser el foco de atención en la enseñanza de la biología y

sugiere que sólo la teoría de Ausubel tiene la amplitud suficiente para satisfacer este propósito. Dentro de la teoría de Ausubel el aprendizaje cognoscitivo tiene un papel preponderante ya que es sobre la estructura organizada de información, es decir sobre la estructura cognoscitiva, que los nuevos conceptos se enlazan para generar un aprendizaje significativo. Este aprendizaje se efectúa cuando existe un concepto integrador en la estructura cognoscitiva que se enlaza con la nueva información pertinente. Dentro de la teoría de aprendizaje de Ausubel un concepto esencial es el del organizador avanzado, que es un concepto más general y abstracto que debe ser presentado en primer orden dentro de la secuencia de aprendizaje. Más adelante profundizaremos en esta discusión.

Novak (1978) propone una distinción importante en la que diferencia los temas del currículum —entendidos como los procesos y criterios para seleccionar y ordenar el conocimiento, las destrezas y actitudes que se enseñarán a un grupo determinado— de los temas de enseñanza —entendidos como la selección de modos de enseñar y propiciar un ambiente de instrucción.

En el primer caso, lo importante es la elección de conceptos, en el segundo, la de actividades con un componente significativo. Esta diferenciación es importante ya que permite evitar la suposición de que el fallo en la estrategia para enseñar un concepto implica necesariamente la imposibilidad de enseñarlo en alumnos de ese nivel.<sup>4</sup> La importancia de este modelo consiste en evitar la trampa de confundir el proceso de captar el conocimiento de una disciplina con el proceso de elección de las mejores vías de enseñanza (el *qué* y el *cómo* de Coll). Ante este problema el planteamiento de Novak (1978) consiste en la necesidad de revisar

---

<sup>4</sup> El caso de la teoría de evolución como un concepto "difícil" puede ilustrar la necesidad de buscar estrategias de enseñanza más efectivas en lugar de abandonar la enseñanza del concepto en función de su aparente complejidad.

radicalmente los cursos de ciencia básica para incluir los nuevos conocimientos sobre teoría de aprendizaje.

No solamente hay un consenso acerca de que los niños construyen sus propios significados, sino sobre el hecho de que los nuevos significados se construyen con base en los conocimientos que ya se poseen. Aquí surge el problema pues, como se sabe, todos poseemos "concepciones erróneas" o ideas que de alguna forma son incompletas o incorrectas. Este último hecho hace difícil el aprendizaje significativo de la ciencia y puede ser una razón para que los maestros soliciten frecuentemente a los estudiantes memorizar palabra por palabra la definición de conceptos (Novak, 1992).

Desde una perspectiva que considere a las concepciones espontáneas o preconceptos, entendidos como ideas previas que los estudiantes poseen antes de tener un contacto formal con los conceptos que las definen, es necesario tratar de que los alumnos substituyan las ideas intuitivas firmemente arraigadas, por aquellas que tengan mayor validez científica. Esto implica la necesidad de intentar dirigir los cursos de ciencia no sólo a los aspectos inferenciales sino a los conceptuales ya que el pensamiento formal ha demostrado no ser suficiente para asegurar el dominio de los conceptos básicos en ciencia (Poza y Carretero, 1987).

Resulta claro que una reforma educativa en la enseñanza de la biología en secundaria sólo puede partir de concepciones claras y precisas de los objetivos; en ese sentido se debe asumir que los cambios deberían atender a las siguientes consideraciones:

—El diseño del programa debe seguir principios estructurados y argumentados que respondan a una secuencia que permita integrar nuevos conceptos.

—Es necesario un desglose de contenidos que enmarque y explicité los temas que se sugiere revisar.

—Se debe generar un vínculo entre los propósitos de la enseñanza de la ciencia en secundaria con el nivel de primaria.

—Se debe de rescatar aquellos contenidos que tengan significado social y personal para el alumno.

—Los objetivos deben resaltar el papel de la ciencia como una actividad social que desarrolla la adquisición de valores, habilidades y actitudes.

—Se debe diferenciar en la propuesta las diferencias entre la actividad de investigación científica y las de enseñanza de la ciencia a nivel básico.

—Se deben presentar explícitamente las sugerencias didácticas y de evaluación a través de ejemplos que las ilustren.

—Se debe destacar la importancia de identificar lo que el alumno ya sabe.

—Debe trascenderse la idea de un método científico único y rígido, y destacarse la importancia de la observación y la comparación en biología.

—Se deben presentar los procesos biológicos fundamentales como antecedente necesario para la cabal comprensión de los contenidos.

—Se deben explicar sin formalismos teóricos, las intenciones y propósitos del nuevo enfoque y ser transmitidas de manera cabal a los maestros.

Desde luego, no basta con modificar los contenidos, es necesario actualizar a los maestros en los enfoques y principios que dieron origen al cambio, si este objetivo no se cumple, es muy probable que la reforma de contenidos no tenga ningún efecto en el medio

escolar. Se ha demostrado que los maestros ejercen un considerable poder sobre un cambio curricular, generalmente de manera negativa. El maestro puede frecuentemente evitar la presentación de innovaciones que considera impracticables o en las que no confía. La relación entre la actitud de un maestro y la innovación, depende del tipo de cambio que se sugiera (Brown y McIntyre, 1986).

Frecuentemente los resultados de las actividades de investigación educativa no logran aterrizar sus conclusiones en el ámbito escolar. Sin tratar de discutir las múltiples razones que explican este fenómeno debemos hacer énfasis en la importancia de vincular los procesos de investigación educativa con la realidad del aula.

A continuación se presentan una serie de recomendaciones producto del trabajo de investigación de diversos autores y que, de alguna manera, sugieren la vinculación entre la teoría y la práctica.

Es necesario incidir en la estructura cognitiva del sujeto a través de diversas estrategias:

1) Usando conceptos y propuestas unificadoras en una disciplina determinada que tengan el más amplio poder explicativo y relación con el contenido específico de esa disciplina.

2) Empleando principios programáticos que ordenen la secuencia del tema construyendo su lógica interna.

3) Se deben presentar materiales introductorios relevantes (organizadores) para luego acceder al material de aprendizaje que presenta un mayor nivel de abstracción y generalidad.

4) Un sistema de este tipo requiere que las ideas más generales de un tema se presenten primero y posteriormente se vaya avanzando hacia una línea de mayor detalle y especificidad. Sin embargo, el ámbito escolar establece un sistema que va de lo particular a lo general lo que

determina que los alumnos obtengan poco éxito. Un ejemplo es la enseñanza de las ciencias en la que hay una manipulación mecánica de los símbolos sin antes haber introducido los conceptos relevantes, lo que lleva al estudiante a tener que memorizar (no a retener) la información. Un organizador nuevo sólo debe ser introducido en el estudiante cuando el anterior ha sido completamente presentado de manera adecuada. Este proceso se puede evaluar a través de repeticiones, prácticas, pruebas y retroalimentación que permita la estabilidad y claridad de la estructura cognitiva existente.

5) Uno de los problemas más importantes es el de la decisión de separar los temas tratando de evitar las relaciones que entre ellos se dan, lo que lleva a conceptos confusos. Existe una tendencia a darle un carácter autocontenido al conocimiento y se hace poco esfuerzo por explicar las relaciones. De esta manera se multiplican los términos diferentes para explicar conceptos intrínsecamente equivalentes a excepción de un marco contextual que no se da. Es necesario integrar de acuerdo a las interacciones cognitivas de los tópicos.

La significancia de un material de aprendizaje estará dada por:

6) El uso preciso, consistente de los términos (por ejemplo definir un término antes de usarlo). Evitar el manejo de tecnicismos que no sean indispensables.

7) El uso de datos empíricos y de analogías relevantes.

8) Estimular una aproximación activa, crítica reflexiva y analítica del estudiante para que reformule el material en términos de sus propios antecedentes, lenguaje y estructura de ideas.

9) Explicitar la lógica y la filosofía que subyace a cada disciplina (sus presupuestos epistemológicos problemas de causalidad etc.)

10) La formación de un concepto es más fácil cuando éste puede ser referido a diversos contextos (Jungwirth, 1988). Es muy importante en la enseñanza de la biología que los términos técnicos no se usen y en el caso de que sean imprescindibles deben ser explicados con ilustraciones o verbalmente (Barras, 1979).

11) En biología, se debería reconocer la importancia de la observación y la comparación en los estudios biológicos.

12) Se debería reconocer las características que distinguen a los seres vivos de la materia inerte.

13) Se sugiere partir del marco evolutivo (que es el concepto más general e inclusivo en biología)

14) Se debería sondear lo que el alumno ya sabe y que determinará lo que el alumno aprenderá (Ausubel, 1984).

15) Es preferible aquel tipo de educación en la que el estudiante participa de manera protagónica en los procesos de enseñanza activa que aquella impuesta por fuentes externas pasivas (Piaget, 1988).

16) El nivel de motivación de un estudiante es fundamental en cualquier proceso de enseñanza. La motivación se relaciona estrechamente con el funcionamiento de las estructuras cognitivas que puedan "acomodar" el nuevo conocimiento. Es recomendable en consecuencia, debido a lo difícil que puede ser determinar con precisión la estructura cognitiva de un sujeto en una situación particular, ofrecer varias alternativas al estudiante. Se sabe por ejemplo que el entendimiento científico sobre herencia mejora entre los 14 y 16 años (Engel y Wood, 1985a) lo

mismo que su percepción sobre el concepto de adaptación entre los 12 y los 14 años (Engel y Wood, 1985b).

17) Las situaciones de aprendizaje deben tener un valor práctico, es decir, que correspondan a la actividad cotidiana del estudiante.

18) Es necesaria la interdisciplina.

19) Es necesario dejar que los alumnos seleccionen los estímulos sensoriales en el inicio del aprendizaje (tocar, oler). Cuando este proceso concluya serán más receptivos. (Osborne y Wittrock, 1985).

20) El material escrito debe tener encabezados y preguntas que enfoquen la atención. Objetivos que clarifiquen la intención de la lección e instrucciones precisas.

21) Relacionar lo estudiado con la experiencia concreta del que aprende. Por ejemplo, los conceptos de genética deben relacionarse con situaciones familiares para ser comprendidos (Engel y Wood, 1985a).

22) Hacer énfasis en la importancia de ciertas aproximaciones metodológicas en el desarrollo de la investigación científica. El trabajo de Darwin es un excelente ejemplo de pensamiento deductivo y esto puede ser transmitido a los estudiantes (Gough, 1978).

En septiembre de 1993, bajo los principios anteriores entró en vigor una nueva propuesta de enseñanza de la biología para el nivel secundaria. Como producto de los procesos de la Reforma Educativa, la SEP, modificó los contenidos del programa emergente y presentó una nueva concepción con cambios profundos en comparación a programas pasados. La materia de biología quedó ubicada dentro del mapa curricular de secundaria como una materia obligatoria

que se imparte en primer grado con tres horas semanales y en segundo grado con dos horas semanales.

#### **2.4 Conclusiones del capítulo**

Se ha intentado caracterizar en este capítulo la evolución, que desde la década de los sesenta, ha sufrido la enseñanza de la ciencia y como una de las ideas más recientes enfatiza la necesidad de reconocer el significado social de los contenidos científicos y destacar la importancia fundamental del estudiante en la construcción de sus procesos de aprendizaje. Asimismo, se han descrito algunos de los problemas, tanto institucionales como técnicos, que se presentan en el nivel de secundaria y algunas evidencias del poco éxito de las estrategias seguidas en la enseñanza de la ciencia.

Se realizó un análisis de la propuesta inmediata anterior a la que este trabajo presenta y se encontraron inconsistencias que sugieren poca fundamentación en la construcción de dicha propuesta, así como falta de explicitación de las técnicas y herramientas para los maestros.

Por otro lado, se realizó un análisis de algunas propuestas de enseñanza de contenidos científicos en países Iberoamericanos y en Inglaterra de las cuáles se puede obtener como conclusión general que, si bien, son muy numerosos los países en los que se están haciendo esfuerzos de reforma, prevalecen aún formas de entender al conocimiento científico que parecen superadas.

Finalmente se presentan una serie de sugerencias orientadoras que, se propone, deben ser consideradas en un esfuerzo de cambio curricular.

### **3 CONDICIONES PSICOPEDAGÓGICAS**

**Podemos sostener que los conceptos representan un papel central en la conducta humana racional y que el aprendizaje del concepto debe ser el foco de atención en la enseñanza de la biología.**

**Joseph Novak**

En esta sección se abordan diversos temas: en primer lugar y siguiendo las líneas descritas en los capítulos anteriores acerca de la importancia fundamental de la evolución como un eje conceptual, se discuten las características que ha tenido la enseñanza de la evolución en la escuela secundaria y los problemas que han sido descritos en este proceso; también se argumenta acerca de la importancia de que los conceptos evolutivos se ofrezcan en la etapa temprana de un curso de biología. Se ofrece asimismo, un análisis de las ideas que, principalmente a modo de preconceptos, tienen los estudiantes sobre los temas evolutivos y algunas estrategias de aprendizaje para que los alumnos modifiquen nociones equivocadas y puedan comprender las implicaciones de la teoría darwiniana.

Por otro lado, tratando de centrar la discusión sobre el tema de aprendizaje, se ofrecen referentes acerca de las ideas de algunos investigadores que contribuyeron a enriquecer la visión que se tiene acerca de la transmisión de conceptos científicos. Si bien, este trabajo no asume plenamente ninguna de estas referencias se consideran un contexto necesario para comprender los presupuestos de la teoría del aprendizaje significativo. En este capítulo se hace una reflexión acerca de las implicaciones de esta teoría, así como de los presupuestos básicos del constructivismo. Asimismo, se aportan consideraciones acerca de la relevancia de las ideas

previas y de la concepción del aprendizaje como un cambio conceptual. Finalmente, se presenta un análisis acerca de los mapas conceptuales, entendidos como herramientas que permiten una presentación esquemática de diversos conceptos y que resultan fundamentales como estrategias de enseñanza.

### **3.1 La perspectiva didáctica en evolución**

La evolución es, sin duda, el concepto más global e integrador en biología, resulta, en consecuencia, fundamental estudiar los procesos que determinen la comprensión de los conceptos que construyen el paradigma evolutivo. A continuación se presenta un análisis de estos procesos.

#### **3.1.1 Los problemas en la enseñanza de la evolución**

T. Dobzhansky (1973) acuñó una frase que refleja con claridad la importancia de la teoría evolutiva en el contexto biológico: "Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución". Actualmente ningún estudioso de la naturaleza del conocimiento biológico cuestiona el papel de la evolución como el cuerpo teórico más global y unificador de la biología. La teoría de la evolución es la pieza fundamental de la biología (Reiss, 1985) y posee importancia científica y social indiscutible. Esta caracterización implicaría necesariamente la inclusión de tópicos evolutivos en el currículum de los primeros niveles de enseñanza formal de la biología que se presentan en la enseñanza secundaria (Deadman y Kelly, 1978; Reiss, 1985; Engel y Wood, 1985a). Para realizar el diseño curricular, sin embargo, es muy importante identificar las nociones y preconceptos que los estudiantes manejan sobre un tema. Con el propósito de identificar las ideas que los niños tienen sobre la evolución se han conducido diversas investigaciones (Deadman y Kelly 1978; Brumby, 1979; Engel y Wood, 1985a y Bishop y Anderson, 1990).

Los resultados han seguido una línea: la evolución entendida como una relación entre los cambios ambientales y la producción de cambios en las características de los organismos a

través de mecanismos genéticos incluye una serie de conceptos que los alumnos encuentran difíciles de asimilar. Los alumnos aparentemente no son capaces de establecer las relaciones que existen entre sus nociones sobre evolución orgánica y las razones ofrecidas por los científicos que les son explicadas en la escuela. El modelo escolar enfatiza frecuentemente el detalle de los conceptos sin poner atención en los procesos globales. Ante este panorama, existen dos opciones; seguir las ideas de Shayer (1974), quien sugiere que la evolución se enseñe por primera vez en el nivel de preparatoria dada su aparente complejidad o, en claro contraste, atender la propuesta de varios autores (Deadman y Kelly, 1978; Engel y Wood, 1985b) quienes recomiendan en lugar de la postergación del tema, la necesidad de implementar estrategias para impartirlo más efectivamente.

Ante esta disyuntiva es necesario comprender, como ya hemos visto, que una distinción importante es la que existe entre los temas del currículum —entendidos como los procesos y criterios para seleccionar y ordenar el conocimiento, las destrezas y actitudes que se enseñarán a un grupo determinado— de las estrategias de enseñanza, —entendidas como la selección de modos de enseñar y propiciar un ambiente de instrucción. En el primer caso, lo importante es la elección de conceptos; en el segundo caso la elección de actividades con un componente significativo. Esta diferenciación es importante, ya que permite evitar la suposición de que el fallo en la estrategia para enseñar un concepto implica necesariamente la imposibilidad de enseñarlo en alumnos de ese nivel (Novak, 1978). En ese sentido nos parece que el problema de la enseñanza de la evolución, más que de complejidad conceptual es de estrategia de enseñanza. De hecho el mismo investigador señala que existe una creciente evidencia para

indicar que puede tener lugar algún grado razonable de aprendizaje casi para cualquier concepto.

Se debe entender que la enseñanza de la evolución no sólo ofrece ventajas como un concepto estructurador. Enseñar evolución tiene beneficios que no son tan evidentes pero de gran importancia; Gough (1978) sugiere que el estudio de las explicaciones darwinianas sobre evolución es muy importante en el medio escolar, ya que permitirá comprender la naturaleza misma de la explicación científica. Darwin desarrolló una serie de deducciones ejemplares que comprendían supuestos que podían ser validados de manera empírica. Por ejemplo, el principio de la lucha por la existencia es válido si se acepta la premisa demostrable del incremento poblacional ante una cantidad limitada de recursos. Hace énfasis en este método de razonamiento en el ámbito escolar le permitiría al alumno iniciar la comprensión de principios de razonamiento esenciales que tienen una aplicación concreta en ámbitos no-científicos.

Es posible que en lugar de retrasar la presentación del tema sea necesario incluirlo de manera temprana en el currículum de secundaria. Evidencias de investigación (Engel y Wood, 1985b) indican que los alumnos que llegan a la secundaria a la edad de 11 poseen ya una fuente importante de conocimiento sobre el tema adquiridos por medios no-formales de educación, y señalan como un problema el hecho de que los estudiantes no tengan contacto formal con el tema hasta la preparatoria. Estos autores marcan una serie de errores conceptuales comunes que es necesario considerar en el diseño del curso, tales como la idea frecuentemente extendida de que un sexo contribuye más que otro a la transmisión de caracteres o de que las características adquiridas son heredables. Aparentemente un parte significativa de los conceptos biológicos esenciales tienen una forma intuitiva en el

**pensamiento de los niños. Algunos de estos conceptos pueden permanecer mucho tiempo y afectar la comprensión de contenidos biológicos que se presentan en la escuela.**

### 3.1.2 Las ideas de los niños sobre la evolución

Hernández (1994), en un estudio realizado con alumnos de primero de secundaria, encontró que la mayoría de los términos fundamentales en los que se estructura la teoría sintética de la evolución no son reconocidos por los alumnos en su connotación biológica. Deadman y Kelly (1978) condujeron un estudio en el que investigaron los conceptos que manejaban los alumnos de secundaria en relación al tema de herencia y evolución. Encontraron que los alumnos reconocían procesos evolutivos únicamente en las poblaciones animales y no eran capaces de establecer las relaciones entre diferentes grupos.

Por otro lado, en cuanto a las explicaciones acerca de la ocurrencia del fenómeno evolutivo, todos los niños ofrecieron ideas que pueden ser divididas en dos tipos básicos: *naturalistas*, en las cuales asocian los cambios con alguna necesidad; asociados a una *fuerza interna* que impulsa a los animales para ser mejores, o ideas *ambientalistas*, en las que se implica que los cambios en los animales se asocian con cambios en el ambiente. En el momento de explicar *cómo* cambian los organismos, los alumnos frecuentemente ofrecieron explicaciones iguales al *por qué* cambian. Sus argumentos tenían un componente lamarkiano en el sentido de que el uso repetido de algún miembro u órgano determinaría una mutación.

En cuanto al concepto de adaptación, prácticamente todos los estudiantes emplearon este término para fundamentar sus explicaciones de la evolución. La adaptación fue entendida como la relación entre la estructura del animal y el ambiente. En las explicaciones prevaleció un argumento *naturalista*. Para los estudiantes la adaptación es el resultado de una necesidad del animal. Aparentemente el concepto de preadaptación no les es familiar. Sólo aquellos que

manifestaron comprensión del valor adaptativo de ciertas estructuras animales incorporaron el concepto de sobrevivencia y erradicaron la idea de cambio por necesidad.

Todos los alumnos tuvieron claro que algunas especies primitivas se han reproducido mientras otras no; de hecho, emplearon términos como *extinción* y *sobrevivencia*, pero sin ligarlos de manera profunda con mecanismos de selección. No se reconoce el carácter intraespecífico de las adaptaciones y todas las explicaciones se refieren a especies diferentes. Algunos estudiantes manejaban un concepto elemental de adaptación y enfatizaron más la sobrevivencia que la extinción.

Los estudiantes no entienden a la evolución como un proceso en el que se involucren aspectos probabilísticos, y carecen por completo de información acerca de las fuentes de variación en los organismos. Poseen únicamente la idea de que la herencia es la transmisión de caracteres de una generación a otra. Sus ideas acerca de la aparición de nuevas características se basan en la experiencia. Palabras como *gen* o *chromosoma* fueron utilizadas sin que aparentemente los estudiantes comprendieran su significado.

Las características de la estructura conceptual sobre evolución en los alumnos de secundaria es determinada por Deadman y Kelly (1978) en 4 apartados:

a) Siete categorías (fenómeno evolutivo, causas de la evolución, mecanismos de la evolución, adaptación, selección, azar, herencia) alrededor de las cuales los estudiantes estructuran sus ideas.

b) El reconocimiento por parte de los alumnos de la importancia de explicar los procesos de evolución y herencia.

c) La comprensión elemental del concepto de herencia y su relación intergeneracional, así como la comprensión de que la evolución involucra diferentes animales del pasado y del presente.

d) Las estructuras conceptuales concernientes a la adaptación y la selección.

Por otro lado, se sabe que los niños entre 6 y 13 años tienen sus propias teorías que tienden a flexibilizarse en la medida que aumenta la edad del estudiante. Una visión bastante común es la idea errónea propuesta por Lamarck en el siglo pasado, de que los caracteres adquiridos son heredables (Kargbo *et. al.* 1980). Este hecho resulta interesante, ya que ejemplifica claramente cómo puede existir una analogía entre las concepciones que estuvieron vigentes en la historia del pensamiento y las percepciones de los alumnos. Diversas investigaciones han confirmado que el pensamiento lamarckiano está presente en estudiantes desde la secundaria hasta el nivel licenciatura (Deadman y Kelly, 1978; Brumby, 1979; Bishop y Anderson, 1990). Angseesing (1978) argumenta que esta tendencia puede deberse al hecho de que la terminología de los libros de texto es confusa e inadecuada, y sugiere que se experimente en el laboratorio de manera que se pueda confrontar la teoría de Lamarck con evidencias empíricas.

Un mecanismo para poder comprender el verdadero significado del pensamiento del estudiante es el de proveerle oportunidades más estructuradas para presentar sus ideas. Uno de los problemas de la enseñanza de la adaptación es el de que poca gente tiene experiencias propias sobre el proceso. Es necesario reflexionar con el alumno sobre la variación visible en los seres vivos y el énfasis en las causas que lo originan.

Otros estudios han demostrado que los alumnos de secundaria poseen una visión teológica y antropocéntrica del concepto de adaptación biológica (Engel y Wood, 1985b).

Reif (1991) reflexiona sobre el hecho de que la ciencia está deliberadamente organizada para alcanzar metas especiales y es, en varios aspectos, diferente del conocimiento natural de la vida cotidiana, en este sentido frecuentemente los estudiantes no tienen claras las metas del conocimiento científico lo que dificulta la apropiación de contenidos..

La mayoría de los estudiantes cree en la evolución debido al peso de la ciencia que avala la teoría, más que en el entendimiento y razonamiento de la misma (Lucas, 1987). Por otro lado, la mayoría de la gente no parece entender el proceso evolutivo como ha sido descrito por los científicos, aún después de haberlo estudiado (Bishop y Anderson, 1990). En un trabajo realizado para conocer el desempeño de los adultos con antecedentes de estudios científicos contra los que no lo tenían en cuanto a biología elemental en Inglaterra, se encontró que no había una diferencia significativa, lo que sugiere el poco efecto del trabajo escolar en los estudiantes. Estos autores encontraron además diferencias entre las ideas científicas y las que los alumnos manejan.

Una de las características de la teoría evolutiva es la distinción de dos procesos; por un lado, la aparición aleatoria de cambios en la estructura genética de una población en función de mutaciones o recombinación genética y por otro, la sobrevivencia o extinción diferencial de los individuos en función de presiones ambientales (selección natural). En general la mayoría de los estudiantes no son capaces de reconocer la diferencia entre estos dos procesos que enfocan como uno solo.

Los estudiantes creen que el ambiente causa los cambios en las poblaciones a través del tiempo. Los mecanismos que sugieren son de *necesidad* (el organismo “necesita” correr más rápido; *de uso y desuso* (el no uso de los ojos los convierte en disfuncionales), de *adaptación* (el color blanco de la piel de los osos ha cambiado como resultado de las presiones ambientales). Estas implicaciones tienen un componente lamarckiano; esto se debe a la dificultad ya mencionada de separar los procesos aleatorios de mutación de los no aleatorios de selección. Para los estudiantes basta la explicación de una función que frecuentemente confunden con el mecanismo evolutivo.

La variación es un componente esencial de la teoría evolutiva. En sentido estricto es el sustrato sobre el que actúa la selección natural. En los estudiantes ésta no es una noción clara, y entienden a la evolución como un proceso que homogeniza a las especies .

Las nuevas características se diseminan en una población debido a que los organismos que las poseen se reproducen con mayor frecuencia. Los estudiantes piensan que estos cambios se van dando en las mismas características de manera gradual entre una generación y otra.

El concepto de adaptación es entendido en su acepción cotidiana, que es diferente de la que se utiliza en el contexto evolutivo. Los biólogos utilizan el término adaptación refiriéndose a un fenómeno poblacional donde los cambios se producen a través de varias generaciones debido a la acción de la selección natural. Los estudiantes interpretan el concepto de adaptación como un término que se refiere a cambios individuales a través de un esfuerzo propio, como cuando un perro se *adapta* a su nueva casa, en el momento que los alumnos escuchan en la escuela el término *adaptación*, que les es presentado en un contexto evolutivo, inmediatamente lo refieren a su propia concepción lo que tiende a reforzar concepciones

equivocadas de carácter naturalista. (Bishop y Anderson, 1990). Estas ideas de los alumnos aparentemente se pueden modificar si los maestros las conocen y diseñan métodos para enfrentarlas.

Uno de los argumentos de los docentes para explicar su resistencia a impartir el tema, se basa en que la evolución no es una materia de carácter práctico. Sin embargo, existen trabajos que atendiendo a este problema se han desarrollado para producir prácticas viables en el ámbito escolar sobre selección natural (Allen y col. 1987) y sobre selección sexual (Adams y Greenwood, 1987). Sería necesario que los docentes aplicaran cierta iniciativa para reproducir estas experiencias en el salón de clase.

Como una estrategia para transmitir adecuadamente el concepto de evolución se debe tratar de entender éste de manera cabal determinando su organización jerárquica; así, el docente contará con un elemento estructurado para transmitir los conceptos que se deriven de él.

La presencia del pensamiento teleológico puede explicarse por el uso en clase o en libros de texto de frases como "el mejor adaptado" o "la supervivencia del más apto", que intuitivamente transmiten una idea de mejoría en las poblaciones. Es necesario hacer énfasis en el hecho de que esta mejoría es tan variable como las presiones de selección que actúan sobre los organismos. Es decir, dado que el ambiente es variable, no es posible conseguir un "producto terminado" en términos evolutivos, ya que las condiciones en que es apto pueden variar y determinar que sus características se vuelvan ineficaces para enfrentar las presiones ambientales. En un estudio Jungwirth (1975) demostró que una proporción elevada de alumnos de secundaria aceptan conceptos de adaptación y evolución desde una perspectiva

antropocéntrica y teleológica. Esta aceptación es literal y no de manera metafórica, distorsionando de esta manera su visión de los conceptos evolutivos. Otros estudios han confirmado esta tendencia (Engel y Wood, 1985b). Desde el punto de vista de un físico, la física carece de explicaciones teleológicas mientras la biología en cambio está llena de ellas. La explicación se centra en la acepción más extendida de la selección natural que genera a través de su acción la impresión de que existe un propósito en el diseño de los organismos. Sin embargo, uno de los mayores riesgos en la interpretación de las formas funciones o conductas de los animales es la de caer en un programa adaptacionista en el que necesariamente tiene que haber una función adaptativa para el desarrollo de una estructura, cuando esto no es necesariamente cierto (Frisch, 1986).

### **3.1.3 Sugerencias didácticas para el tema de evolución**

A lo largo de este trabajo se ha hecho énfasis en la importancia de considerar las ideas del que aprende; de presentar inicialmente los conceptos de mayor poder explicativo y de resaltar la importancia de los conceptos como estructuras fundamentales en el aprendizaje. Estas líneas se fundamentan en supuestos psicopedagógicos que se presentan con cierto detalle más adelante y con base en ellas se presentan las siguientes recomendaciones para tratar el tema de la evolución.

Es necesario que los maestros posean una visión muy clara de las ideas que los alumnos tienen sobre la evolución. El presente sumario representa el trabajo de varios autores y nos ofrece una línea de resultados que, creemos, es necesario considerar para determinar las estrategias docentes:

- Es importante sondear la información que el alumno maneja, de tal manera que puedan contrastarse las diferencias conceptuales con respecto a la información aceptada científicamente. En el caso de la evolución podemos asumir que:
- El pensamiento de sentido común es lamarckiano. Los niños creen que en los animales existe un deseo de mejorar y que los caracteres adquiridos en general son heredables
- No se maneja el concepto de variabilidad
- No existe un concepto de mutación en los estudiantes que les permita explicarse la variabilidad
- Se cree que la evolución ocurre a lo largo de la vida de un organismo.
- El concepto de adaptación se interpreta en su acepción cotidiana como un elemento positivo que ayuda a los animales a sobrevivir.
- No existe la concepción de que la evolución ocurre también en los vegetales.

- No se diferencian las fases del proceso evolutivo: la producción aleatoria de variabilidad y selección no aleatoria de los organismos más aptos.
- Conceptos como gen o cromosoma son manejados en el vocabulario del alumno sin que se entienda su significado.
- Se cree que el uso o el desuso favorece la aparición o desaparición de caracteres.
- Las explicaciones de cómo y por qué ocurre la evolución son confundidas.
- Existe una visión teleológica y antropocéntrica de la evolución.
- Se piensa que los cambios ambientales determinan los cambios en la estructura de los animales.

Se puede sugerir una posible explicación dividida en dos líneas de análisis para entender los problemas de los niños para entender conceptos evolutivos: a) Es más fácil entender ciertos conceptos de una manera aunque éstos no sean verdad. Intuitivamente por ejemplo, es más sencillo pensar que los organismos adquieren los elementos necesarios para vivir y los heredan, aunque esto no sea cierto. b) Los medios de educación no-formal, en un esfuerzo por simplificar las ideas, llevan a confusiones e interpretaciones equivocadas. "Sólo los animales más fuertes o inteligentes sobreviven" es un ejemplo de lo que se menciona en un programa de televisión sobre evolución (Bishop y Anderson, 1990) o "El hombre viene del mono" frase atribuida a Darwin que supuestamente resume su teoría (Guillén, 1992). Existen modelos cognitivos con base en el sentido común que son muy resistentes al reemplazo por modelos validados científicamente (Greene, 1990). La enseñanza del desarrollo histórico del pensamiento evolutivo es muy importante, ya que de esta manera los alumnos pueden darse

cuenta de la manera en que conceptos similares a los que poseen se modificaron por la aparición de nueva evidencia (Engel y Wood, 1985a).

A continuación se presentan una serie de sugerencias puntuales para la enseñanza de la evolución en secundaria.

—Es muy importante que se abunde en el diseño de actividades experimentales que permitan al alumno reconocer principios evolutivos básicos como selección natural o herencia de caracteres adquiridos. Tradicionalmente la evolución ha sido catalogada como un cuerpo teórico que no puede demostrarse experimentalmente. Ya hemos hecho referencia a la frase de W. J. Crozier que explicaba en 1930 a sus alumnos de Harvard en su curso introductorio a la biología: “La evolución no es ciencia: ustedes no pueden experimentar con dos millones de años” (Smocovitis, 1992). En realidad este prejuicio aún existe en el ámbito escolar: frecuentemente los maestros piensan que no es posible contar con apoyo experimental para sustentar el tema. Sin embargo, existen muy diversas fuentes de experimentación que pueden demostrar principios evolutivos elementales, por ejemplo sobre selección natural (Allen y col., 1987) y sobre selección sexual (Adams y Greenwood, 1987)

—Es necesario que los maestros puedan diseñar situaciones problema que permitan al alumno plantearse explicaciones acerca de los mecanismos de cambio. Angseesing (1978), por ejemplo, sugiere que una de las formas en que los alumnos pueden erradicar pensamiento de tipo lamarckiano es a través de la solución de problemas que les permitan detectar las fallas de la teoría propuesta por Lamarck, por ejemplo: *La polilla Biston betularia se presenta en dos variedades con colores distintos: claro y oscuro. En una zona urbana el 90 % de los*

*individuos son oscuros mientras que en una zona rural son menos del 10%. se pueden ofrecer cuatro hipótesis:*

*a) El color se determina genéticamente y las diferentes frecuencias de las dos formas en las dos áreas se deben a que varíen en su habilidad para sobrevivir en cada ambiente.*

*b) El color es determinado genéticamente y las diferentes frecuencias de las dos formas se deben al azar.*

*c) Cada polilla tiene la habilidad de cambiar de color para parecerse a su ambiente.*

*d) El color es determinado genéticamente y las diferentes frecuencias de las dos formas en las dos áreas se deben a que cada polilla busca un fondo que no contraste con su propio color.*

*Un biólogo decide distinguir entre estas hipótesis liberando un número determinado de polilla marcadas para luego recapturarlas.*

*a) ¿Es necesario que libere polillas de ambos colores?*

*b) Si lo hace ¿debería marcar a los dos tipos de polilla de manera diferente?*

*c) ¿Debería liberar polillas en las dos localidades?*

*d) ¿Existe alguna ventaja en liberar sólo polillas oscuras en un ambiente claro?*

En la medida que los estudiantes opten por una hipótesis y una aproximación metodológica, modelando, de esta manera, el ejemplo, podrán detectar que algunas propuestas son inconsistentes y enlazar estas inconsistencias con la teoría lamarckiana de evolución. Esta estrategia será más convincente para los estudiantes que la explicación que pedirles que acepten las ideas del profesor. Frecuentemente los maestros confían en que al impartir un tema los alumnos tomarán estas ideas aun cuando se encuentren en conflicto con sus propias

explicaciones. En muchos casos el alumno "negocia" y le ofrece a su maestro la explicación que este demanda sin que esto implique necesariamente la aceptación de sus ideas. Para evitar este problema los maestros deben ofrecer además de una explicación, ejemplos significativos y comprensibles para los estudiantes.

—La conceptualización del proceso a través de herramientas metodológicas como mapas conceptuales. Los mapas conceptuales (MC) presentan relaciones significativas entre proposiciones que se articulan a través de unidades semánticas de manera esquemática. Los MC permiten llamar la atención sobre las ideas más importantes en una proposición, así como las relaciones entre los significados de los conceptos. En nuestro caso, parten de la premisa de que la biología puede ser enfocada como un sistema conceptual.

Los MC deben ser jerárquicos, con los conceptos más generales en la parte superior y los conceptos más específicos en la parte inferior. Un mismo concepto puede ser manejado de diferentes maneras en distintos MC.

Los MC permiten al alumno reconocer las conexiones entre los diferentes tópicos del conocimiento. El profesor los puede utilizar para determinar las rutas que se siguen para organizar los significados y además deslindar la información relevante de la trivial. Un aspecto muy importante es que los MC son un instrumento de evaluación de la significatividad del aprendizaje, aspecto muy difícil de medir por medio de otras técnicas. En particular, el análisis conceptual de un área de conocimiento biológico es un ejercicio muy importante a través de esta técnica (Okeke y Wood, 1980). Un estudio realizado por Okebukola (1990), demostró que la aplicación de la técnica de mapas conceptuales mejoraba significativamente el aprendizaje

**de conceptos de genética y de ecología en una población de estudiantes con edades entre los 15 y 16 años. Un posible ejemplo se sugiere a continuación:**

Un posible mapa conceptual sobre evolución



La evolución es sin duda el concepto más global y unificador en biología y así lo han reconocido los nuevos programas elaborados por la SEP. Es necesario, en consecuencia que los maestros cuenten con elementos que permitan una transmisión más eficaz de este tema.

### 3.2 Aprendizaje

Si bien este trabajo asume y comparte la posición de que el estudiante construye nuevos significados a partir de una estructura conceptual previa en la que los estos significados se integran a una red, nos ha parecido importante revisar algunas de las ideas relacionadas con la transmisión de procesos científicos con el fin de brindar un necesario contexto para el presente trabajo. Estas ideas se presentan en la siguiente sección.

#### 3.2.1 Los trabajos de Vygotsky, Brunner y Piaget

##### Vygotsky

Para Vygotsky el proceso formal de educación tiene una importancia capital en el proceso de formas superiores de procesos mentales:

La instrucción es una de las principales fuentes de los conceptos del alumno y es también una fuerza poderosa para dirigir su evolución; determina el destino de su desarrollo mental total. (Vygotsky, 1962 en Krauss, 1996)

Desde la perspectiva vygotskyana los conceptos se forman siguiendo una serie de etapas en el que se inicialmente se clasifican los objetos en categorías sueltas o *montones*. Cuando la experiencia del que aprende aumenta, se forman *complejos* en los que se inicia, aunque de manera muy inestable la asociación. A muy temprana edad escolar los estudiantes pasan a una tercera etapa, llamada por Vygotsky, de los *conceptos potenciales* y que dura hasta la adolescencia, en ella se da una transición entre conceptos espontáneos y conceptos científicos y finalmente, la cuarta etapa es la de los *conceptos genuinos* (o científicos), en la que los conocimientos son abstractos, sistematizados y comunes a una cultura (Krauss, 1996).

Los conceptos científicos -afirma Vygotsky- no los transmite un adulto y los absorbe, ya asimilados, un niño, sino que se desarrollan con el uso, mediante la interacción verbal con un adulto, conforme el alumno progresa en la etapa de conceptos potenciales. En la medida que el niño se compromete en la interacción verbal, desarrolla las habilidades mentales superiores de conciencia, abstracción y control. La palabra funciona como la "herramienta" del pensamiento. El niño utiliza dicha herramienta para centrar la atención mientras progresa en un proceso de *síntesis abstracta* que implica: *abstraer* ciertos rasgos, *sinetizarlos* y luego *simbolizarlos* con un signo (Krauss, 1996).

Bajo este principio es fundamental que el alumno maneje un vocabulario que le permita entender los significados de un texto. Para ello se deben proponer actividades escolares que permitan identificar estos conceptos y sus posibles relaciones con otros. Es decir, la reestructuración de conceptos espontáneos implica que se separen de la experiencia cotidiana del niño, que se representen simbólicamente y que se ubiquen en un contexto de relaciones.

#### **Bruner**

Jerome Brunner -como Vygotsky- reconoce la importancia del conocimiento preexistente y también propone una división de las etapas del desarrollo del niño- Para él, aprender una materia implica adquirir nueva información que se encuentra (y reemplaza) a la preexistente, en consecuencia el aprendizaje es un refinamiento de las ideas previas del que aprende (Hernández, 1994). Para Bruner el aprendizaje se centra en tres etapas: la *adquisición* de nueva información; la *transformación* de esta información para adaptarla a nuevas tareas y la *evaluación* que permita comprobar que la información que se aprende es la adecuada. Desde de perspectiva de este autor

el valor del aprendizaje, se centra en su utilidad y para ello recomienda que los conceptos básicos se acerquen a la lógica del niño (Hernández, 1994).

### **Piaget**

Sin duda los trabajos de Piaget sobre las variaciones en las capacidades cognitivas de los niños resultan indispensables para entender las bases psicológicas de la educación científica.

Dentro del contexto de la teoría organicista Piaget realizó un análisis de los procesos involucrados en el desarrollo de la inteligencia de los individuos. Piaget pretendía construir una epistemología genética del desarrollo intelectual a través del análisis psicogenético del desarrollo y la estructuración de conceptos desde la niñez hasta la adolescencia, estableciendo que se trata de un proceso subyacente al entendimiento, explicación y racionalización de la experiencia (Campos y Gaspar, 1989). La epistemología genética aborda el problema del conocimiento en función de sus dimensiones históricas y ontogenéticas. Podemos distinguir en ella tres rasgos dominantes: la dimensión biológica; el punto de vista interaccionista; el constructivismo genético (Pansza, 1982).

Uno de los conceptos fundamentales en el trabajo de Piaget es el de adaptación que puede ser entendida como la capacidad del individuo de incorporar nuevos elementos a reflejos hereditarios. El mecanismo generador del proceso resulta de la interacción del medio ambiente y el individuo. La adaptación contiene dos procesos complementarios; la asimilación y la acomodación. Asimilar consiste en adaptar lo experimentado a estructuras internas, acomodarse es la adaptación del individuo al objeto con el que se experimenta. En estos procesos es necesario un proceso de equilibrio por medio del cual el crecimiento mental progresa hacia niveles más complejos y estables.

Una estructura se puede percibir por las acciones que un individuo ejecuta, es individual y exhibe un estado de conocimiento.

De acuerdo con hipótesis del constructivismo genético, no existe conocimiento humano que esté preformado. Sin embargo, el constructivismo se manifiesta como la contraparte del positivismo y su objetividad, y manifiesta que la construcción de la realidad es un problema subjetivo, creativo, racional y emocional por lo que cualquier hecho real es susceptible de ser reconstruido. En este contexto, las concepciones, motivaciones y conocimientos previos del que aprende son importantes.

Osborne y Wittrock (1985) proponen que la teoría piagetiana se inscribe dentro del constructivismo ya que el modelo de Piaget propone que el individuo, al interactuar con su ambiente, construye el conocimiento.

Existen cuatro etapas en la teoría del desarrollo de Piaget:

- 1) Sensorio-motriz: que se ubica entre los actos reflejos y la representación
- 2) Pre-operatoria: ésta termina cuando el sujeto es capaz de realizar clasificaciones o seriaciones.
- 3) Operación concreta: esta se refiere a la abstracción de las propiedades esenciales del objeto con respecto a una situación.
- 4) Operación formal: Esta etapa se caracteriza por la presencia del razonamiento hipotético-deductivo (Piaget, 1988; Sánchez y Salgado, 1988).

Los niveles de desarrollo son de gran variabilidad entre individuos diferentes. En función del tipo de estructura predominante se determinaría la fase de desarrollo. Cada fase, de acuerdo a Piaget, marca una diferencia en las etapas de desarrollo del niño.

En diferentes fases hay similitudes. Se encuentra predominancia de algunas estructuras sobre otras. Cada fase, tiene un principio y un fin; cuando una estructura está completa se presenta una ruptura que marca la diferencia estructural. Algunos presupuestos fundamentales de esta teoría son:

1) El orden de sucesión de la adquisición de la conducta es constante no cronológicamente sino en su sucesión. La cronología es variable.

2) Las estructuras adquiridas en una edad se convierte en parte integrante de la siguiente edad. El tiempo es un medio y no el mecanismo promotor del cambio.

3) Las fases o estadios se pueden caracterizar por una estructura de conjunto que posee leyes de totalidad que reúnen una serie de esquemas operatorios sin aparente relación en una unidad que caracteriza el estadio.

4) Un estadio posee un nivel de preparación y un nivel de terminación.

5) Todo proceso requiere de una interrelación de factores sumar requiere de: identificar, clasificar, agrupar, contar, asociar, adicionar (Piaget, 1988).

En el modelo piagetiano (Wagner y Sternberg, 1984):

— Es preferible aquel tipo de educación (activa) en la que el estudiante participa de manera protagónica en los procesos de enseñanza que aquella (pasiva) que es impuesta por fuentes externas. Aquí se privilegia el uso del método científico como una herramienta que permite resolver problemas que el ambiente plantea.

— El nivel de motivación de un estudiante es fundamental en cualquier proceso de enseñanza. la motivación se relaciona estrechamente con el funcionamiento de las estructuras cognitivas que puedan “acomodar” el nuevo conocimiento. Es recomendable en consecuencia, debido a lo difícil que puede ser determinar con precisión la estructura cognitiva de un sujeto en una situación particular, ofrecer varias alternativas al estudiante.

— Las situaciones de aprendizaje deben tener un valor práctico, es decir, que correspondan a la actividad cotidiana del estudiante.

— Es necesaria la interdisciplina.

La modelación de Piaget pretende ser universal y considera el entorno social como una variable que simplemente matiza el momento en que se presenta cada estadio.

Wagner y Sternberg (1984) han ofrecido algunos argumentos acerca de las limitaciones de la teoría piagetiana para extenderse en el ámbito educativo:

—*La teoría piagetiana analiza el potencial y no el desempeño.* Podemos entender el potencial como la capacidad de una persona y el desempeño como la aplicación de esa competencia. Si los educadores generan expectativas para desarrollar las estructuras intelectuales en lugar de desarrollar estructuras de aprendizaje se enfrentarán a problemas ya que la escuela es un ámbito en el que los educadores se relacionan con el desempeño. La conclusión sugiere que los educadores deberían relacionarse más con el desempeño que con la capacidad de los estudiantes.

— *El tiempo que transcurre entre cada periodo y subperiodo piagetiano limita su valor práctico en proceso de instrucción.* Estos periodos proveen líneas generales pero no permiten generar secuencias específicas de objetivos educativos.

— *La teoría privilegia la maduración por sobre el aprendizaje.* La teoría asume que existe una serie de capacidades de alguna manera preprogramadas y rinde menor atención a los procesos de aprendizaje. Se asume que el desarrollo de estructuras cognitivas es producto de la maduración.

— *La teoría no tiene el suficiente soporte empírico.* Por otro lado, algunos estudios han demostrado que no todos los esquemas formales, desde un punto de vista piagetiano, se adquieren simultáneamente (Pozo y Carretero, 1987), esta idea tiene consecuencia inmediatas en la enseñanza de la ciencia ya que implica que el pensamiento formal no presenta una estructura de conjunto.

Existen ejemplos de investigación sobre conceptos biológicos fundamentadas en el contexto piagetiano. Okeke y Wood (1980), analizaron a un grupo de niños nigerianos y dentro de sus conclusiones destacaron que el modelo piagetiano probó su utilidad para clarificar los diferentes niveles en los que un niño entiende un concepto particular. Por ejemplo existen conceptos básicos como presión que son suficientes para entender el bombeo sanguíneo del corazón, sin embargo, para entender la importancia de la diferencia de presión en la circulación se requiere un nivel analítico mayor.

Por otro lado, diversas investigaciones se han realizado sobre el desarrollo del pensamiento formal y en ellas se ha puesto de manifiesto que éste no es alcanzado en la cultura

occidental a las edades previstas por Piaget (Gutiérrez, 1984) y que es una condición necesaria pero no suficiente para acceder al conocimiento (Pozo y Carretero, 1987).

Una crítica interesante a los trabajos de Piaget la ha realizado Novak (1978) quien señala que el trabajo de Piaget y sus seguidores ha mostrado que algunas clases de conceptos abstractos son difíciles de aprender para un niño antes de los 12 o los 14 años. Sin embargo - desde la perspectiva de Novak- Piaget llega a conclusiones erróneas ya que éstas sólo son válidas para el tipo de conceptos probados en las entrevistas piagetianas que requieren una amplia base de experiencia y aprendizaje del concepto subordinado. Novak describe que según estudios recientes, ocho de cada diez adultos fallan al realizar esas tareas y ello no implica que carezcan de capacidades para el pensamiento formal, sino más bien que carecen del marco de referencia apropiado de conceptos específicos que se necesitan para realizar dichas tareas. De esta manera Novak (1978) apunta una visión alternativa: la teoría de aprendizaje significativo.

### 3.3 Aprendizaje significativo

Como ya se ha explicado en el primer capítulo, el periodo comprendido entre la segunda mitad del siglo pasado y los inicios de este siglo, se caracterizó por el nacimiento de conceptos generales que explicaban las regularidades halladas en los sistemas que estudia la biología. Joseph Novak (1978) afirma que es posible demostrar cómo estos conceptos que constituyen una disciplina no sólo influyen en la construcción de nuevo conocimiento disciplinar, sino que también determinan la planeación en la enseñanza. Compartimos con este autor la idea de que el aprendizaje de conceptos -entendido como la descripción de una regularidad entre hechos- debe ser el foco de atención en la enseñanza de la biología y que un modelo de aprendizaje adecuado, debe ser aquel que enfatice la naturaleza de los conceptos y el papel que representan en el aprendizaje. Para Novak (1978) la única teoría viable de aprendizaje cognoscitivo que tiene la amplitud suficiente para atender estas demandas es la teoría de aprendizaje de David Ausubel (1976).

Joseph Novak, planteó hace casi veinte años lo siguiente:

Las innovaciones futuras en la enseñanza de la biología deben estar fundadas en un marco de referencia conceptual de la disciplina o subdisciplina que se enseñará, y sobre un análisis sistemático de alternativas de enseñanza escogidas para llevar al máximo el aprendizaje del concepto por los estudiantes (Novak, 1978)

Comparto esta visión que supone analizar las referencias conceptuales de la biología y determinar algunas estrategias de enseñanza adecuadas. En el primer capítulo de este trabajo se ha tratado de caracterizar la base conceptual de los procesos biológicos, se han señalado ya algunas alternativas de enseñanza específicas y se abordarán ahora las bases psicopedagógicas generales que dan sustento a la propuesta curricular alternativa que este trabajo presenta.

Las teorías de cognición tienen un objetivo fundamental; investigar de qué manera se aprende. El término cognición se refiere a la serie de procesos mediante los cuales el ingreso sensorial es transformado y utilizado, pasando los estímulos a un segundo plano.

El aprendizaje cognitivo resulta de la articulación de varios procesos de construcción de representaciones simbólicas de la realidad que posee varias dimensiones interrelacionadas. Tres pueden ser los procesos que se articulan; primero, la adquisición de las representaciones disponibles en el medio, segundo, la reconstrucción de estas adquisiciones en función del contexto individual y social y tercero, la construcción de un marco representacional de la realidad (Campos, 1988).

En el individuo existen tres categorías que definen su estructura interna: la habilidad, la jerarquía y la secuencia. La habilidad se refiere a las formas que el individuo utiliza para aprender, transformar y reconstruir la realidad. La jerarquía permite identificar las nociones que es necesario manejar para desarrollar el aprendizaje de cierto concepto. La secuencia se fundamenta en la estructuración temporal de los contenidos (Campos, 1988).

Para Novak (1978) existen tres tipos de aprendizaje: el cognoscitivo, el afectivo y el psicomotor. Los procesos cognoscitivos se refieren a los mecanismos de adquisición y uso del conocimiento y que la mayoría de la gente entiende como aprendizaje. Al conjunto de información en el cerebro del que aprende y que forma un complejo organizado se le llama: "estructura cognoscitiva". La experiencia afectiva surge de señales que aparecen *dentro* del individuo y que se identifican como placer y dolor, como satisfacción o insatisfacción, como tranquilidad o ansiedad. Con diversos matices, la experiencia afectiva siempre acompaña a las experiencias cognoscitivas y, por lo mismo, el aprendizaje afectivo es concomitante del

aprendizaje cognoscitivo. Este autor sugiere que el educador puede controlar la experiencia cognoscitiva y, en consecuencia, ésta debe ser el objeto de atención. Finalmente, el aprendizaje psicomotor comprende el adiestramiento para desarrollar respuestas musculares. En este proceso se destaca, también el papel del aprendizaje cognoscitivo como un elemento que es determinante en la adquisición de destrezas psicomotoras (Novak, 1978).

El primero en plantear una teoría que desarrolla el concepto de *aprendizaje significativo* fue David Ausubel (Novak, 1978). Este aprendizaje ocurre cuando la nueva información se enlaza con los *conceptos pertinentes* que existen ya en la estructura cognoscitiva del que aprende. En ese sentido, las experiencias previas son fundamentales y determinan el grado de significatividad de un concepto que puede variar de acuerdo a estas experiencias. (Novak, 1978).

Es necesario para que un determinado conocimiento tenga significado lógico, que se fundamente en un sistema no-arbitrario de relaciones que embonen con una estructura cognitiva hipotética madura. Es decir el material que se presentará debe reunir características de relaciones no-arbitrarias, lucidez y plausibilidad. La emergencia de un significado psicológico depende no sólo de la capacidad del individuo sino también de su propia idiosincrasia. Cuando un individuo aprende proposiciones lógicas no está aprendiendo su significado lógico sino el significado que tienen para él. La naturaleza idiosincrásica del significado psicológico, sin embargo, no elimina la posibilidad de que se compartan significados de manera social (Ausubel, 1984).

En su teoría del aprendizaje generativo, Osborne y Wittrock (1985) plantean que la gente tiende a generar significados y percepciones consistentes con su aprendizaje. El que aprende debe *generar* lazos entre la información que recibe y la que ya posee. De esta manera, las ideas

existentes influyen en los estímulos sensoriales que son percibidos. El que aprende probará los significados que construye contra su memoria y será responsable de su propio aprendizaje.

Una de las principales características del aprendizaje significativo es que es duradero; ya que cuando existe un enlace entre el nuevo conocimiento y las estructuras conceptuales pertinentes del que aprende. Por supuesto, también es posible aprender información nueva que enlace poco o nada con los elementos existentes en la estructura cognoscitiva. Éste se considera generalmente como *aprendizaje memorístico*. Sin embargo, la distinción entre el aprendizaje significativo y el memorístico no es una dicotomía, sino un continuo, pues aún en el aprendizaje de los números telefónicos hay significación en cierto grado.

El enlace de la nueva información con la ya existente, constituye un proceso dinámico en el que tanto la nueva información como el concepto que existe en la estructura cognoscitiva resultan alterados de alguna manera. Para subrayar este aspecto, Ausubel denomina *concepto integrador* al concepto pertinente que existe en la estructura cognoscitiva. La relación de la nueva información con un integrador pertinente en el aprendizaje significativo, es el proceso de *integración*. Ausubel simboliza el proceso en esta forma:

$$A + a = A'a'$$

Concepto existente en la estructura cognoscitiva	Información nueva pertinente que va a ser aprendida	Concepto modificado en la estructura cognoscitiva
--	---	---

Durante un periodo de tiempo, la nueva información aprendida (a') puede ser evocada casi en su forma original, pero, con el tiempo, ya no será disociable del concepto integrante. En este

caso se ha dado la integración obliterativa (obstructiva), que no debe confundirse con el olvido, como sucede con el aprendizaje memorístico (Novak, 1978):

Después de la integración obliterativa, el concepto residual permanece y gran parte del desarrollo que se ha operado durante la integración es retenido; por tal causa, este concepto se fortalece y es más capaz de facilitar *nuevo* aprendizaje significativo, en lo futuro. En contraste, si el olvido ha ocurrido después del aprendizaje memorístico, el nuevo aprendizaje similar es retrasado realmente por un proceso que se ha descrito como *interferencia*. (Novak, 1978).

Durante el aprendizaje significativo pueden enlazarse nuevos hechos a los conceptos en la estructura cognoscitiva y de este modo fortalecer y ampliar esos conceptos. Asimismo, el nuevo aprendizaje puede permitir que el estudiante determine asociaciones novedosas entre los conceptos. Novak (1978) utiliza un ejemplo en el que el modo como el niño desarrolla su concepto sobre un tema particular (perros, gatos, leones), determina la posibilidad futura de aprender que todos estos son grupos pertenecen a una clase más general: *mamíferos*; cuando este concepto se desarrolla, los conceptos de perro, gato, etc., previamente aprendidos, toman una relación subordinada y el concepto de mamífero representa el aprendizaje del concepto *supraordinado*.

A medida que avanza el proceso de integración la transformación implica una elaboración jerárquica (Ausubel y col., 1976), los conceptos que existen se tornan más elaborados o más diferenciados. Este proceso puede ampliarse por días, semanas o años y es importante, en el diseño de la enseñanza, realizar esfuerzos deliberados para alentar a los estudiantes a fin de que asocien la nueva información con lo aprendido previamente, en los conceptos pertinentes, con lo cual estos conceptos se diferencian progresivamente.

Durante el aprendizaje y la diferenciación del concepto pueden entrar en conflicto los significados. Las ideas previas del estudiante pueden no coincidir o ser opuestas a la información que recibe. El proceso por el cual los significados que suscitan conflicto pueden aclararse es conocido como *reconciliación integradora*. Este es un proceso necesario, y debe ser dirigido por la enseñanza (Novak, 1978).

Uno de los elementos fundamentales de la teoría de Ausubel que se relaciona con la secuencia de presentación de la información, es el concepto de *organizador avanzado*. Cuando fue introducido, en 1960, Ausubel mostró prueba de que una secuencia de enseñanza diseñada en la que se considera un organizador avanzado, introducida previamente a la nueva información que debía aprenderse, facilita el aprendizaje posterior. La característica predominante que Ausubel atribuyó al organizador avanzado fue que debía ser más general y más abstracto que la información a seguir y que eso debía servir para facilitar el aprendizaje significativo del nuevo material. El elemento crítico de un organizador avanzado es que sirve para *enlazar* la nueva información que se aprenderá con los conceptos existentes en la estructura cognoscitiva.

Ejemplo de un enlace usado comúnmente en biología es el concepto de complementariedad de estructura-función. Cuando se ha puesto atención a este concepto, antes de enseñar la naturaleza de los elementos leñosos de las plantas, de los huesos, de los cartílagos, o de otras estructuras, aumenta la probabilidad de que el aprendizaje significativo que se adquiera produzca una diferenciación progresiva y una reconciliación integradora de los conceptos Novak (1978).

El aprendizaje significativo y la retención están afectados de manera importantísima por la estructura cognitiva del sujeto. Ya se mencionó que un aprendizaje significativo sólo puede

presentarse si existe el antecedente cognitivo adecuado. De esta manera si la estructura cognitiva de un sujeto es estable, clara y bien organizada, el aprendizaje significativo se presentará. Si en cambio la estructura cognitiva de un sujeto es inestable, ambigua y desorganizada, la tendencia será a inhibir el aprendizaje y la retención. Los procesos educativos deberían, en consecuencia, influir la estructura cognitiva del sujeto (Ausubel, 1984).

La experiencia previa del sujeto es conceptualizada como un cuerpo de conocimiento jerárquico, organizado, adquirido de manera acumulativa que se relaciona con un nuevo objetivo de aprendizaje. Los aspectos relevantes de la experiencia pasada son factores como la claridad, estabilidad, y potencial de acoplamiento, generalización y discriminación, no el parecido entre estímulos y respuestas (Ausubel, 1984).

Al estudiar procesos educativos generalmente se piensa de que manera una tarea A determina el desarrollo de una tarea B. Al realizar trabajos con grupos control a los que no se expone a A y encontrar que no existe un proceso de transferencia, que si ocurre en el primer caso, se dice que hemos establecido una transferencia positiva. Sin embargo, A y B no son eventos discretos sino, partes de un continuo. A es una etapa preparatoria y B una etapa más operativa del mismo proceso de aprendizaje. Así en el ámbito escolar nos encontramos no con una transferencia en el sentido literal de la palabra sino con la influencia de un conocimiento previo en la presencia de nuevo aprendizaje de acuerdo a una estructura secuenciada (Ausubel, 1984).

Los principios que rigen la organización lógica del conocimiento, dependen de la lógica de la clasificación, mientras que aquellos que rigen la organización psicológica del

conocimiento dependen de las leyes del aprendizaje significativo y la retención. Sin embargo, estos dos procesos se sobrelapan, de esta manera el aprendizaje significativo de nuevas ideas se conforma de principios de clasificación lógica que pueden ser descritos como procesos de acomodo bajo aquellas ideas relevantes en la estructura cognitiva que exhiben un orden mayor de generalidad. Los procesos organizacionales lógico y psicológico no solo descansan en la lógica de la clasificación sino que emplean el mismo principio estructurador del conocimiento en términos de la unificación de elementos que manifiestan mayor generalidad y poder explicativo (Ausubel, 1984).

Sintetizando; una verdadera transformación en la enseñanza de la biología, sólo será posible en la medida que se atienda a consideraciones conceptuales de la disciplina y a estrategias de enseñanza que ponderen los mecanismos de organización conceptual del que aprende. Ese es uno de los retos de la propuesta que aquí se presenta.

### 3.3.1 Constructivismo

Como hemos apuntado en la sección 2.1, la necesidad de nuevas estrategias de aprendizaje que hicieran posible el desplazamiento de las concepciones espontáneas por los conocimientos científicos ha dado lugar a diversas propuestas desarrolladas en la década de los ochenta, que - pese a ciertas diferencias esencialmente de términos- coinciden en concebir al aprendizaje de las ciencias como una construcción de conocimientos que parte necesariamente de un conocimiento previo (Candela, 1991; Gil y Guzmán, 1993). Este modelo -en el que tienen un papel fundamental ideas que ya hemos discutido como las de Ausubel (1978) y Novak (1988), las aportaciones didácticas de Fosner y colaboradores (1982); y Driver (1986c) y las contribuciones previas de investigadores como Piaget y Vygotsky, entre otros- parte de una serie de preceptos fundamentales que se enlistan a continuación (Driver, 1986c):

- Lo que hay en la estructura conceptual del que va a aprender es importante.
- Encontrar sentido supone establecer relaciones: los conocimientos que pueden conservarse permanentemente en la memoria no son hechos aislados, sino aquellos que forman una estructura y se relacionan de múltiples formas las habilidades adquiridas dependen en gran medida del contexto en el que se adquieren.
- Quien aprende construye activamente significados, y estos significados son construcciones personales.
- Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje.

En el planteamiento piagetiano, la etapa de razonamiento formal es una condición necesaria y probablemente suficiente para acceder al pensamiento científico. Sin embargo, las reglas formales de razonamiento no garantizan el descubrimiento de explicaciones adecuadas a

**los hechos; adultos universitarios capaces de razonar formalmente tienen serios problemas con sus concepciones de eventos científicos. La explicación consiste en entender el arraigo de las concepciones espontáneas o preconceptos que en muchos casos no pueden ser modificados por el pensamiento formal (Pozo y Carretero, 1987).**

**Algunas diferencias esenciales entre la teoría piagetiana y el constructivismo son:**

**—Los piagetianos dentro de su concepción de teoría de desarrollo, enfocan el aprendizaje como un proceso universal y de desarrollo direccional en función de la madurez. Los constructivistas enfocan el aprendizaje como un fenómeno localizado que se desarrolla sin un orden definido y es independiente de la edad.**

**—Para los piagetianos “desarrollo conceptual” significa progreso a través de las etapas de desarrollo, mientras que para los constructivistas significa el desarrollo de la concepción individual sobre un fenómeno (Gilbert, 1986).**

**El modelo constructivista de aprendizaje ha tenido implicaciones determinantes en las propuestas de enseñanza; la selección de un programa educativo que valore estos procesos de construcción, el énfasis en la necesidad de reconocer organizadores avanzados, son algunos de los imperativos que se desprenden de la aceptación del modelo constructivista. En ese sentido resulta fundamental que una propuesta curricular fundamentada para la enseñanza de la biología atienda a estas demandas; que se plantee organizadores avanzados -como los conceptos más integradores tales como evolución o ecología, que proponga instrumentos didácticos para el reconocimiento de las ideas del que aprende y que integre estrategias para evaluar el aprendizaje a través de la modificación conceptual. Asunto que discutiremos en la siguiente sección.**

### **3.3.2 Aprendizaje como cambio conceptual**

Thomas Kuhn (1985) es quizá uno de los pensadores que más ha influido en el análisis de la evolución del pensamiento científico. Para Kuhn, los cambios en el pensamiento científico ocurren a través de revoluciones ("luchas" entre los defensores de viejos y nuevos paradigmas) en las que los paradigmas —entendidos como el conjunto de métodos, criterios y generalizaciones (leyes) que comparten quienes han sido entrenados para desarrollar el trabajo de investigación— atraviesan un proceso de crisis y resultan superados por paradigmas con un mayor poder explicativo (Kuhn, 1985). En el caso de la enseñanza de las ciencias, se ha planteado una sugerente propuesta de considerar al aprendizaje como un cambio conceptual (Posner y col. 1982). El planteamiento propone una analogía entre el desarrollo conceptual de un individuo y la evolución del pensamiento científico. De esta manera el aprendizaje significativo constituye una actividad racional equivalente a la investigación científica y sus resultados —el cambio conceptual— pueden considerarse análogos a los cambios de paradigma (Gil y Guzmán, 1993). Giordan (1995), en este mismo contexto, propone un modelo de aprendizaje que él llama *alostérico* y en el que asume que el éxito de todo aprendizaje se basa en una transformación de las concepciones y que toda proceso de adquisición de conocimientos procede de actividades complejas de elaboración en las que el estudiante a través de un proceso amenazador —en el sentido de que modifica el sentido de las experiencias pasadas— de complejas actividades de elaboración en el que se confronta la nueva información con sus conocimientos.

Para Posner y colaboradores (1982) el cambio conceptual requiere de varias condiciones:

— Que se produzca insatisfacción con los conceptos existentes.

— Que el nuevo concepto sea intelegible, es decir que el que aprende puede construir una representación coherente de él.

— Que el nuevo concepto sea plausible, es decir que el que aprende considere que puede reconciliarse con conceptos preexistentes.

— Que el nuevo concepto sea fructífero, es decir que sirva para resolver problemas.

Esta concepción sobre el aprendizaje de las ciencias ha determinado modelos que tienen el objetivo de producir cambios conceptuales. Driver (1986c) señala que una secuencia de actividades adecuada para determinar cambios conceptuales consiste en: a) la identificación y clarificación de las ideas que los estudiantes poseen; b) el cuestionamiento de estas ideas a través del uso de contraejemplos; c) la introducción de nuevos conceptos y d) las oportunidades para que los estudiantes utilicen estos nuevos conceptos.

El concepto de aprendizaje como cambio conceptual resulta determinante si se pretende evaluar el efecto que ha tenido una estrategia de enseñanza. Este trabajo reconoce esa importancia y la ha adoptado en la investigación de campo para determinar la modificación de conceptos sobre temas evolutivos. Siguiendo la secuencia señalada por Driver (1986c), se identificarán las ideas de los estudiantes a través de exámenes, se presentarán contraejemplos (ver Angseesing, 1978 en la sección 3.1.3) y se introducirán nuevos conceptos cuyo efecto será determinado por réplicas del examen original y se evaluarán las modificaciones en las ideas de los estudiantes

### **3.3.3 Las ideas previas**

Hemos señalado en diversas secciones de este trabajo el papel fundamental que juegan las ideas previas de los estudiantes en la construcción de nuevo conocimiento. Si un modelo de enseñanza ignora estas ideas y asume que los estudiantes son homogéneos y comparten los mismos conceptos que pueden ser modificados fácilmente por medio de la intervención del maestro y de materiales de enseñanza, estará seguramente destinado al fracaso. Es por ello que nos ha parecido importante sistematizar en esta sección algunas de las reflexiones que diversos investigadores han elaborado sobre este tema.

Muchos estudios se han encargado de demostrar que los estudiantes tienen creencias propias acerca de cómo ocurren los fenómenos y sobre el significado de ciertas palabras que utilizan diariamente y que sin embargo, tienen una acepción diferente a la de ellos en el terreno científico. Se ha discutido más arriba la importancia de estas estructuras que podrían ser caracterizadas como "ciencia infantil" y de las cuales se desprenden tres presupuestos de enseñanza:

—El que considera que el que aprende no tiene ningún conocimiento sobre un tema hasta que este es formalmente presentado. (Tabla rasa)

—El que considera que el que aprende probablemente posee ideas propias que son fácilmente desplazadas por las presentadas por el maestro. (Dominancia del maestro)

—El que considera que las ideas del que aprende son suficientemente fuertes para persistir e interactuar con las ideas formales. (Dominancia del alumno).

Se ha demostrado que la tercera opción es la que opera en la realidad educativa, los estudiantes "exitosos" utilizan las explicaciones científicas del maestro cuando son requeridas en exámenes, pero mantienen su propia visión al relacionarse con situaciones cotidianas (Gilbert *et al.* 1986).

El desarrollo de las ideas científicas ha producido conceptos para los que no existe necesariamente una instancia de observación (átomo, campo eléctrico) o que no tienen realidad física (energía potencial). Estas concepciones están fuera de la experiencia del niño y en consecuencia, no forman parte de su punto de vista científico. Los científicos tradicionalmente se han ocupado de producir un amazón teórico en el que la coherencia es un presupuesto esencial. Los niños se interesan mucho más en explicaciones pragmáticas que ocurren en su mundo cotidiano (Osborne *et al.* 1986).

Las concepciones espontáneas también llamadas nociones o preconceptos han sido objeto de un intenso estudio por parte de muy diversos investigadores. Dentro de las conclusiones más relevantes que la investigación nos ofrece podemos decir que: (Pozo y Carretero, 1987)

- Son determinantes en la adquisición de nuevo conocimiento y en muchos casos pueden ser un obstáculo.
- Obedecen casi siempre a experiencias o al producto de un pensamiento intuitivo y surgen espontáneamente sin que exista una instrucción o actividad educativa diseñada para producirlas.
- Son construcciones personales.
- Se restringen a lo observable y son en general científicamente incorrectas.

—Son resistentes al cambio.

—Son compartidas por estudiantes y alumnos y sugieren restricciones sistemáticas en el procesamiento de información.

—Pueden tener un carácter histórico y reproducir errores que se han presentado en la historia del desarrollo del pensamiento científico.

—Pueden articularse en una estructura conceptual compleja que explique la resistencia a la modificación ya que un cambio afectaría a todo un sistema. (Gilbert, *et al.*, 1986).

—Lo que no se observa no existe. Una magnitud física no está presente si no se manifiesta.

—Son antropocéntricas: se atribuye a objetos características animales o humanas

Reif (1991) reflexionó sobre el hecho de que la ciencia está deliberadamente organizada para alcanzar metas especiales y es, en varios aspectos, diferente del conocimiento natural de la vida cotidiana, en este sentido frecuentemente los estudiantes no tienen claras las metas del conocimiento científico lo que dificulta la apropiación de contenidos..

Las diferencias entre las visiones de los científicos y las de los niños pueden ser caracterizadas de la siguiente manera:

#### *Los niños*

- 1- Dificultades para desarrollar ideas abstractas, visión del mundo centrada en sí mismos. Consideran únicamente lo que tiene contacto con su vida cotidiana. Actividad en términos de utilidad
- 2- Interesados en explicaciones particulares sobre eventos específicos. No les interesa la necesidad de establecer explicaciones que no se contrapongan.

- 3- Los significados de términos científicos pueden ser utilizados en una acepción incorrecta que se puede agudizar con la madurez.

#### *Los científicos*

- 1- Manifiestan un tipo de pensamiento abstracto. Sus aproximaciones evitan el antropocentrismo. No necesitan justificar su experiencia cotidiana.
- 2- Buscan un marco coherente con explicaciones que no entren en conflicto para entender los fenómenos naturales.
- 3- Mantienen un lenguaje preciso y particular en el que, de acuerdo a convenciones previas, identifican con exactitud a que se refieren.

Los maestros de ciencia deben considerar que los niños y los científicos tienen estas diferencias en las explicaciones que ofrecen de lo que observan (Osborne *et al*, 1986)

Si un objetivo de la ciencia es contribuir a que los niños modifiquen su visión del mundo, es necesario considerar la manera en que se puede lograr este objetivo. En ese sentido hay autores que sugieren que el primer paso es que el estudiante encuentre sus propias explicaciones poco satisfactorias, esto puede ocurrir si estas explicaciones no aciertan a explicar o anticipar eventos. Para ello, es necesario que se elijan experiencias de aprendizaje que permitan destacar estas posibles deficiencias de las teorías infantiles. Sin embargo, el hecho de que el niño encuentre que sus propias explicaciones no son satisfactorias, no es razón suficiente para que modifique su visión, es necesario que una nueva idea con mayor poder explicativo reemplace a la anterior. Esta nueva idea debe ser inteligible y plausible. El nivel de insatisfacción sobre una idea determinada podría, en consecuencia, ser una función de ambas variables (Osborne *et al*, 1986)..

**El maestro deberá:**

- Identificar y familiarizarse con las ideas de los niños.
- Diseñar el currículum considerando las ideas de los niños *más* que ignorándolas.
- Proveer de retos y estímulos a los niños para que transformen sus ideas.
- Apoyar a que sus alumnos vuelvan a pensar sus ideas.(Osborne *et al.*, 1986)

Las consideraciones anteriores dan pie para una reflexión que nos parece importante. En el contexto de la necesidad que tiene los estudiantes de darle significado al conocimiento que manejan, una pregunta pertinente podría ser ¿cuál es la necesidad, entonces, de enseñarles evolución; un concepto para el que existen pocas o ninguna instancia de observación que les sean familiares, en lugar de presentar contenidos con un sesgo social y familiar? La respuesta la podemos hallar en el carácter estructurador de las ideas evolutivas. Los programas tradicionales de biología hacen frecuentes referencias a las diferencias y semejanzas entre plantas y animales, por ejemplo, a las adaptaciones anatómicas del ser humano, o a las estructuras fisiológicas del ser humano. Sin un concepto que les permita entender el origen de estas diferencias y adaptaciones, los estudiantes realizarán ejercicios memorísticos de poco o ningún valor en los que las fuentes de variación, conducta y fisiología de los seres vivos serán ignoradas. En ello radica la necesidad de introducir organizadores avanzados. Desde luego -ya lo hemos discutido- es fundamental también socializar el papel de la ciencia y presentar ante los estudiantes ejemplos legibles de los efectos de la actividad científica en su vida diaria; de la importancia de reconocer sus procesos de maduración sexual o de entender las dinámicas ambientales. Consideramos pues, que la propuesta tiene que ponderar ambas dimensiones: la

**de una estrategia para la cabal comprensión de los procesos biológicos, y la de la presentación de contenidos que tengan significado para el que aprende.**

### **3.4 Instrumentos de análisis: los mapas conceptuales**

Un modelo de aprendizaje basado en la relevancia de los conceptos requiere de herramientas e instrumentos de enseñanza que permitan generar un aprendizaje. De acuerdo al esquema de Novak y Gowin (1988) la significatividad del mensaje estará directamente vinculada con la estrategia de enseñanza.

Sin duda, uno de los instrumentos más novedosos y de mayor poder para analizar las relaciones que se establecen entre los conceptos son los mapas conceptuales (MC) que presentan relaciones significativas entre proposiciones que se articulan a través de unidades semánticas de manera esquemática y permiten llamar la atención sobre las ideas más importantes en una proposición así como las relaciones entre los significados de los conceptos. Los MC tienen un desarrollo reciente (Stewart *et al.*, 1979) y en el contexto de este trabajo se asume la premisa de que la biología puede ser enfocada como un sistema conceptual.

Los MC deben de ser jerárquicos con los conceptos más generales en la parte superior y los conceptos más específicos en la parte inferior. Un mismo concepto puede ser manejado de diferentes maneras en distintos MC.

Los MC se pueden usar para analizar pasajes de los libros de texto y de esta manera detectar inconsistencias.

Como estrategia de enseñanza los MC son muy importantes puesto que le permiten al alumno reconocer las conexiones entre los diferentes tópicos del conocimiento. El profesor los puede utilizar para determinar las rutas que se siguen para organizar los significados y además deslindar la información relevante de la trivial durante el diseño del programa. Un aspecto muy importante es que los MC son un instrumento de evaluación de la significatividad del

aprendizaje, aspecto muy difícil de medir por medio de otras técnicas. En particular, el análisis conceptual de un área del conocimiento biológico es un ejercicio muy importante a través de esta técnica (Okeke y Wood, 1980). Un estudio realizado por Okebukola (1990), demostró que la aplicación de la técnica de mapas conceptuales mejoraba significativamente el aprendizaje de conceptos de genética y de ecología en una población de estudiantes con un rango de edad entre 15 y 16 años. Las conclusiones de este autor se centran en la idea de que los mapas conceptuales permiten lograr que los alumnos no entiendan a los conceptos como eventos aislados.

En este trabajo los mapas conceptuales se han utilizado para dos propósitos diferentes: por un lado, como instrumentos de análisis de los conceptos evolutivos presentes en el libro de texto que estudiantes de primero de secundaria utilizan cotidianamente (ver sección 5.1). Por otro lado y considerando su valor como instrumento educativo se han sugerido explícitamente a los maestros de biología en la propuesta curricular para que los utilicen. Siguiendo esta línea es que se diseñó un mapa conceptual sobre la evolución (ver sección 3.1.3) que se utilizó para impartir el tema a estudiantes de primero de secundaria dentro de su programa regular.

### **3.5 Conclusiones del capítulo**

Se han discutido en este capítulo los hallazgos de muy diversos investigadores en cuanto a la enseñanza de la evolución apuntando de manera general hacia una conclusión que indica que el tema de la evolución no es cabalmente comprendido por los estudiantes y que muchas de las ideas que ellos tiene sobre este tema son erróneas. Con este antecedente se han ofrecido una serie de recomendaciones didácticas para el trabajo de este tema en el ámbito escolar.

Por otro lado, se han analizado, de manera general, algunas de las aportaciones que autores fundamentales han ofrecido para la enseñanza de la ciencia y se ha presentado el concepto de aprendizaje significativo entendido como aquel que ocurre cuando nueva información enlaza con las estructuras conceptuales pertinentes del que aprende. Se han presentado, asimismo, los elementos fundamentales del constructivismo y la idea de que el aprendizaje puede ser entendido como una modificación conceptual. Finalmente se ha destacado la importancia de las ideas previas del que aprende y se han ofrecido los mapas conceptuales como una estrategia pertinente dentro de esta propuesta de aprendizaje.

## **II. LA PROPUESTA CURRICULAR**

### **4. LA REFORMA EDUCATIVA: EL NUEVO PROGRAMA DE BIOLOGÍA DE SECUNDARIA 1993-1994**

En esta sección se presentan los criterios que llevaron al diseño del nuevo programa de biología de secundaria que, como se ha señalado, obedecen a los principios planteados en el presente trabajo.

El nuevo programa para biología en secundaria presenta modificaciones importantes con respecto a su precedente inmediato anterior. En esta sección intentaremos presentar la nueva propuesta atendiendo a la distinción que Novak (1978) establece entre aquellos aspectos que se refieren primariamente a la extracción del conocimiento de la biología, de los aspectos enfocados a la presentación de ésta a los que aprenden. La sección ha sido organizada tratando de responder a las cuatro preguntas de Coll (1987) sobre componentes del currículum descritas en la sección 2.3.1, además de una quinta pregunta (Para qué enseñar?) que nos parece imprescindible:

#### *¿Para qué enseñar?*

Existe una tentación que aparentemente ha sido irresistible al diseñar cursos de ciencia para estudiantes del nivel básico. Los modelos de enseñanza tradicionalmente han tratado de promover la generación de científicos a escala dentro de las aulas escolares. Para lograr este objetivo las estrategias han sido lamentables; se han diseñado programas excesivos que los maestros nunca o casi nunca logran revisar plenamente y frecuentemente los temas son de un nivel de especialización inadecuado para el nivel al que se dirigen. En el proceso de modernización educativa la propia SEP reconoció que:

"Hasta ahora la educación formal que ofrece el sistema educativo ha estado construida sobre la necesidad de cumplir en tiempo y forma, planes y programas de estudio. Estos determinan la totalidad de los aprendizajes que los alumnos deben realizar en preescolar, primaria y secundaria, convirtiendo así a la educación en un conjunto homogéneo y unívoco. Esta oferta ha pretendido determinar en abstracto y en función de las disciplinas o de las áreas, los conocimientos y habilidades que todo mexicano debe adquirir si desea proseguir estudios posteriores" (SEP, 1991).

Parecería que una de las intenciones que ha animado esta propuesta es la de preparar a los alumnos para futuros cursos universitarios de ciencia. Esta visión propedéutica en la enseñanza de la ciencia es poco real ya que aparentemente no se ha comprendido que es mínimo el porcentaje de alumnos que efectivamente logra llegar a niveles superiores.

El propósito de la educación científica en secundaria no debe ser exclusivamente el de producir científicos, en realidad es necesario atender demandas más básicas; los beneficios de una educación científica no deben limitarse a la adquisición de conocimientos que probablemente tengan poca o ninguna aplicación ya que la ciencia es una actividad social que incorpora valores y actitudes. Su práctica y el aprendizaje de sus métodos propicia la aplicación sistemática de elementos como la integridad, la diligencia, la creatividad, la imparcialidad, la imaginación, la curiosidad, la apertura hacia nuevas ideas y el escepticismo razonado, toda este serie de valores son altamente apreciados en ámbitos no-científicos. (Rutherford y Ahlgren, 1990). En estos momentos de coyuntura en los que enormes problemas ambientales y de salud forman parte del entorno de cada niño, es necesario que a través del estudio de ciertas disciplinas, sea capaz de informarse y desarrollar actitudes decididas que le permitan integrarse a una sociedad obligada a ser más cuidadosa.

En el estudio de las materias científicas, y en particular de la biología, tan cercana a la experiencia directa de los estudiantes, puede utilizarse un enfoque que relacione los contenidos

con las experiencias cotidianas de éstos. Así, será posible combatir los extendidos prejuicios que causan que los jóvenes consideren a las materias científicas como algo aburrido y difícil que debe ser temido. La ciencia debe verse no sólo como una manera de buscar respuestas a problemas, sino como una forma de entender el mundo en el que vivimos. Esta aproximación permitirá que la visión de los estudiantes no se vea limitada y que sean capaces de adquirir una cultura científica. Para lograr este propósito, un objetivo fundamental es el de vincular los contenidos de la materia con experiencias cotidianas de los estudiantes y con procesos productivos y sociales, de tal manera que el estudiante amplíe y modifique su visión del entorno inmediato y que adquiera la capacidad de integrar nuevos conocimientos. Este enfoque es además equivalente al que se propuso para el diseño de los programas de Ciencias Naturales en el nivel primaria que perdieron su naturaleza propedéutica e integraron nuevos ejes ordenadores como el de *Ciencia, tecnología y sociedad*.

### *¿Qué enseñar?*

Como ya mencionamos Novak (1978) ha planteado que es fundamental el aprendizaje de conceptos. La elección de éstos debe atender a consideraciones epistemológicas de los procesos biológicos y a la selección de contenidos sociales. En ese sentido el nuevo programa para biología en secundaria presenta modificaciones importantes con respecto a su precedente inmediato anterior. En esta propuesta se ha asignado un especial valor a grandes conceptos biológicos que rigen procesos evolutivos, ecológicos y genéticos y a la vez se han integrado temas con un alto contenido social como lo son: ciencia y sociedad; el panorama actual de la biología; conservación ambiental y consecuencias de la actividad humana en el ambiente, además de orientaciones específicas de salud y de sexualidad. El antecedente de esta propuesta -el programa emergente de biología para primer grado (1992-1993)- consideraba cinco unidades: *La diversidad del mundo vivo; células, tejidos y órganos; unicidad; funciones biológicas; continuidad y transformación; herencia y evolución; dinamicidad y salud humana* cuyas limitaciones han sido analizadas en detalle en la sección 2.2.1. El nuevo programa (1993-1994), que además tiene una secuencia organizada con su equivalente de segundo grado de secundaria y con sus precedentes de ciencias naturales de primaria, propone también cinco unidades para primer grado: *el mundo vivo y la ciencia que lo estudia; evolución; el cambio de los seres vivos en el tiempo; los seres vivos en el planeta; ecología; los seres vivos y su ambiente; genética; la ciencia de la herencia*. En segundo grado se presentan: *los niveles de organización de la materia viva; la célula; funciones de los seres vivos; reproducción humana; y la salud*. A diferencia del programa anterior, cada unidad presenta un desglose de subtemas que pretenden orientar al maestro sobre los contenidos más pertinentes a revisar y en ese sentido se plantea explícitamente

que la intención es brindar una línea propositiva, más que una larga listas de temas que se deben cubrir exhaustivamente. El objetivo es presentar temas que buscan hacer énfasis en el aspecto significativo que tiene el conocimiento biológico. Esta es una diferencia esencial ya que con gran frecuencia los programas de biología han presentado temas generales con ninguna especificación y esto determina en muchos casos que el maestro aborde contenidos siguiendo las indicaciones del libro de texto y no de una propuesta temática institucional (El programa completo se encuentra en el Apéndice 2).

Los contenidos del primer curso están agrupados en cinco unidades temáticas para su tratamiento, a continuación se ofrece la panorámica de cada unidad:

La unidad temática 1, " El mundo vivo y la ciencia que lo estudia ", presenta un bosquejo general de las principales características que distinguen a los seres vivos y desarrolla un panorama histórico de la biología. En esta unidad temática se pretende enfatizar la importancia de la biología como ciencia autónoma a través del análisis de su metodología . Se presenta la introducción al laboratorio escolar y a las salidas de campo . La unidad temática concluye con un análisis del sentido y la utilidad de los estudios biológicos y su relación con otras ciencias.

La unidad 2, " evolución : el cambio de los seres vivos en el tiempo," propone un análisis del desarrollo histórico de la teoría evolutiva. Se enfatiza la importancia del trabajo de Darwin y se aborda el tema de la síntesis evolutiva moderna.

La unidad 3, " Los seres vivos en el planeta ," inicia con el análisis de las diversas teorías sobre el origen de la vida. Este tema se enlaza con el de las eras geológicas y pone especial atención a los cambios anatómicos y fisiológicos que ocurrieron en los seres vivos en general, y en el hombre, en particular. Posteriormente se analiza el concepto de biodiversidad, y se destaca

la importancia de nuestro país como una de las cinco naciones en el mundo con mayor riqueza biológica. La unidad temática concluye con el estudio de los sistemas de clasificación de los seres vivos .

La unidad temática 4, " Ecología : los seres vivos y su ambiente ", introduce al estudio de las relaciones entre individuos, poblaciones, comunidades y ecosistemas en el ambiente. Se presentan los ciclos ecológicos más importantes y posteriormente se analizan tipos de ecosistemas y su dinámica. Se sugiere especial atención al estudio del ecosistema local. la unidad temática concluye con una reflexión sobre las consecuencias de la actividad humana en el ambiente, así como de las acciones que permitirían evitar el deterioro de los sistemas naturales.

En la unidad temática 5, " Genética. la ciencia de la herencia ", se pretende que el estudiante pueda comprender los principios elementales que regulan los procesos hereditarios. Esta unidad inicia con un bosquejo de los procesos históricos que conformaron la genética moderna y a continuación se presenta un análisis de los mecanismos genéticos más importantes. La relación entre el estudio de la herencia y la vida humana recibe especial atención. Finalmente se analizan aspectos de domesticación, reproducción y salud.

Al igual que en el primer grado, los contenidos para segundo año están agrupados en cinco unidades temáticas:

La unidad temática 1, " Niveles de organización ", permite entender la manera en que los compuestos orgánicos característicos de los seres vivos se ensamblan para formar las moléculas de la vida. Se analizan las principales características de las biomoléculas más importantes y su participación en los procesos metabólicos de los seres vivos.

En la unidad temática 2 " La célula ", se presentan elementos generales acerca de los procesos celulares. La unidad inicia con un análisis histórico sobre los primeros trabajos acerca de la célula que componen a los seres vivos, diferenciándolas de las que caracterizan a los procariontes y precisando sus diversas funciones (células hepáticas, neuronas, etcétera ). Se analizan de manera general los procesos fisiológicos de la célula y se concluye con un análisis de la división celular.

La unidad temática 3 " Funciones biológicas vegetales y animales", inicia con la revisión de la jerarquía tejido-órgano-sistema, para posteriormente analizar las principales funciones que caracterizan a los seres vivos.

La unidad temática 4 " reproducción humana" presenta algunos elementos sobre la anatomía y la fisiología de los procesos reproductivos. La unidad inicia con una revisión de la anatomía del aparato reproductor femenino y masculino. Posteriormente se estudia el proceso de menstruación, se analiza la fecundación y el desarrollo embrionario. Se describe el proceso del parto y se concluye con la presentación de métodos anticonceptivos y la discusión de las enfermedades que pueden ser transmitidas por vía sexual.

La unidad temática 5, " La salud " abordar los aspectos generales que permiten mantener al organismo saludable y libre de enfermedades. Inicia con un análisis de la importancia de una alimentación equilibrada y su relación con la salud. Posteriormente se estudian las enfermedades más comunes en el hombre como los mecanismos para prevenirlas a través de los servicios de salud. A continuación se da una descripción de los efectos nocivos que causan las adicciones al tabaco, el alcohol y drogas. Se concluye con una reflexión sobre importancia de una actitud responsable del estudiante en torno a la vida.

### *¿Cuándo enseñar?*

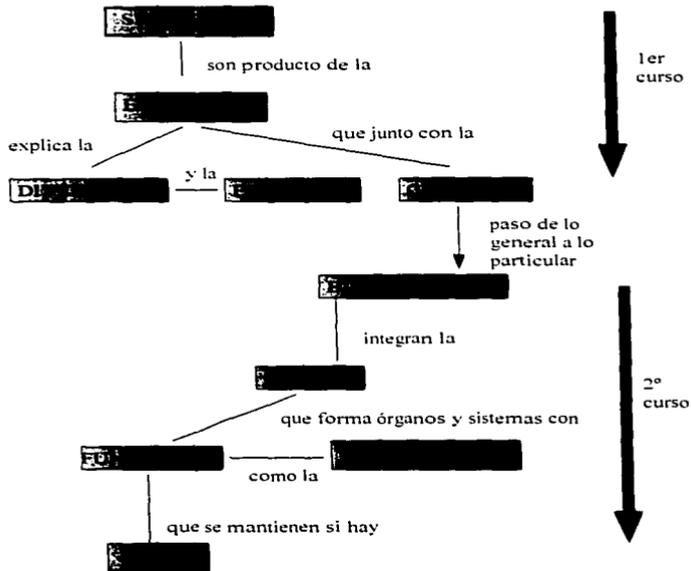
La respuesta a esta pregunta parte de un supuesto básico: la secuenciación de contenidos puede ser determinante en el aprendizaje. Al respecto Novak (1978) señala que una secuencia de enseñanza diseñada con propiedad (el organizador avanzado), introducida previamente a la nueva información que debe aprenderse, facilita el aprendizaje posterior. La característica principal de los organizadores avanzados es que son información más abstracta y general que la información a seguir y que ello facilita el aprendizaje significativo. El nuevo programa de biología reconoce la importancia de la evolución como un contenido integrador en la enseñanza de la biología y como tal le dedica por completo la segunda unidad del primer grado, sólo después de haber revisado conceptos generales de biología. Los procesos ecológicos, de origen de la vida y genética son también estudiados en primer grado, este último tema sirve para enlazar los procesos microbiológicos con los aspectos particulares de la organización de los seres vivos que se estudian en segundo grado de secundaria. La elección de los contenidos de cada curso se basa en las diferencias a nivel de desarrollo e intereses de los alumnos. Debido a esto, los temas relacionados con desarrollo sexual, reproducción y salud se integraron al programa de segundo de secundaria bajo los siguientes fundamentos: 1) Cuando los alumnos ingresan a la escuela secundaria, poseen una información elemental, pero suficiente, sobre la anatomía, el funcionamiento general y la higiene del aparato reproductor (Medero, 1991). Estos temas son analizados en el quinto y sexto años de la enseñanza primaria. 2) Debido a que los alumnos de segundo grado de secundaria se encuentran en una fase más avanzada de desarrollo fisiológico, el contenido se orienta más hacia los aspectos de la práctica de la sexualidad y sus consecuencias para la salud. De acuerdo con esto, y a diferencia de los programas anteriores, con el primer

curso se pretende involucrar a los alumnos en los procesos unificadores de la biología y con esta base se propone que en segundo grado comprendan las particularidades de la organización de los seres vivos.

Desde luego, esta propuesta de presentación debe ser flexible, el profesor puede decidir tomar elementos de alguna unidad e introducirlos como precedentes de otra. Enfocar la secuencia como única e irreversible implicaría recrear una tradición inductiva que debe ser superada.

A continuación se presenta esquemáticamente el programa de biología:

PROGRAMA DE BIOLOGÍA 1993



### *¿Cómo enseñar?*

Las líneas didácticas de este nuevo programa se han presentado en el libro para el maestro de biología (SEP. 1994). Este documento -a diferencia de su antecedente la Guía para el Maestro (SEP. 1992b) analizada en la sección 2.2.1- presenta una serie de recomendaciones explícitas y fundamentadas que pretenden ofrecer al maestro estrategias de aprendizaje y mecanismos para evaluar lo que el alumno aprende. A continuación se presenta, de manera general, el propósito de cada una de estas secciones.

En el primer capítulo “Enfoque”, se analizan los criterios que normaron el diseño del programa y se presenta un panorama de los contenidos de cada unidad. Se sugieren además algunos elementos generales que el maestro debe considerar al abordar los temas y se exponen los objetivos de los dos cursos de biología que se presentan en la escuela secundaria.

El segundo capítulo “Contenidos” presenta de manera desglosada los programas de ambos cursos y hace referencia a las fichas didácticas, elementos que describiremos un poco más adelante.

El tercer capítulo “Recomendaciones didáctico-metodológicas” se divide en cuatro subcapítulos, el primero, ofrece al maestro, a través de un ejemplo, elementos para clarificar la posición jerárquica de los conceptos en una estructura cognoscitiva que como hemos revisado a lo largo de este trabajo es una tarea fundamental; en el segundo caso se señala la importancia de preparar con anticipación los cursos; para cumplir este fin se presenta un ejemplo de planeación anual, bimestral y por clase que más que una estrategia administrativa se presenta como un instrumento que puede aliviar las cargas docentes. El tercer subcapítulo hace referencia a un factor cuya importancia se ha señalado reiteradamente en este trabajo; la identificación de las

ideas del que aprende, para ello presenta una estrategia para discernir estas ideas: la asociación de palabras que permite al maestro valorar las ideas previas que maneja el estudiante. Finalmente el cuarto subcapítulo también hace referencia a factores que se han discutido previamente y que se relacionan con criterios para la elección de un libro de texto; ya se ha señalado la importancia que los maestros le confieren a este material y las inconsistencias detectadas en el que se utilizaba en la escuela analizada. Por ello es que se ofrecen una serie de recomendaciones que hacen referencia, entre otras, a la legibilidad, la actualización de los contenidos y el uso de temas inclusores, así como la presencia de auxiliares pedagógicos.

El cuarto capítulo: "Actividades de los alumnos", se refiere a diversos métodos y herramientas para la enseñanza de la biología tales como: situaciones experimentales; construcción de aparatos y modelos didácticos; prácticas de campo; prácticas en la comunidad; demostración-discusión; pregunta generadora; investigación documental; proyecto y actividades extraescolares. En cada caso y tratando de superar la carencia de explicitación, se ofrece un modelo que implica la planeación y el desarrollo, así como líneas de evaluación. Asimismo se brinda un ejemplo ilustrativo.

El quinto capítulo: "Recomendaciones de evaluación" ofrece algunas ideas de los aspectos que pueden ser evaluados, así como algunas de las características que debe tener la evaluación entendida, más que como un elemento terminal, como un estrategia constante en el proceso de aprendizaje. En esta sección se presentan los mapas conceptuales como instrumentos esenciales para identificar la manera en que los estudiantes organizan los conceptos que han revisado. Es pertinente aclarar que esta es la primera vez que dichos instrumentos se presentan en documentos institucionales dirigidos al maestro.

El sexto capítulo "Fichas didácticas" constituye un esfuerzo por brindar recomendaciones específicas para prácticamente todos los temas y subtemas que se abordan en el programa. Consta de 184 fichas en cuyo formato incluye información sobre el tema a desarrollar y se sugiere una actividad. Las fichas pueden sugerirle al maestro experiencias en el aula, en el laboratorio o en la comunidad; búsqueda de información por parte del estudiante y otras alternativas diversas. Considerando la escasez de recursos escolares es que se proponen actividades que incluyen materiales realmente elementales que son accesibles en cualquier centro escolar.

En los apéndices de este documento se encuentran los programas de ciencias naturales de primaria, así como información sobre posibles lugares a visitar y finalmente se ofrecen recomendaciones bibliográficas.

Este libro para el maestro de biología representa una fuente explícita con orientaciones educativas. Por supuesto, la expectativa es que los docentes hagan una lectura crítica y selectiva de los materiales y que a partir de las sugerencias ahí planteadas, construyan estrategias propias.

Por otro lado existen una serie de orientaciones generales que permiten identificar los aspectos relevantes a revisar en cada grado y que se presentan a continuación:

En la **unidad temática 1** se debe explicar que el origen de la biología se remonta a las primeras interacciones entre el hombre y su ambiente. Los métodos de domesticación primitivos son un referente muy importante. Es necesario mencionar los trabajos sobre la naturaleza del mundo vivo generados por Aristóteles y el posterior desarrollo de disciplinas como la herbolaria, la anatomía y medicina, que dieron origen a la biología moderna. Con el fin de lograr una mayor identificación (tanto del profesor como de los alumnos) con el programa, convendría

enfaticar algunos aspectos de la cultura científica nacional, por ejemplo, se puede incluir el uso de plantas medicinales en los pueblos precolombinos y subrayar el hecho de que aún se emplean. En este caso se pueden realizar actividades complementarias, como visitas a mercados para conocer algunas plantas usadas en la medicina herbolaria tradicional mexicana.

Se recomienda mencionar el invento del microscopio y las consecuencias de su uso. El estudio de la microbiología, enfatizando de manera particular los trabajos de Leeuwenhoek. Una referencia obligada son las obras de Darwin y Mendel en el siglo pasado. Es importante mencionar la labor de los genetistas de principios de siglo, de Oparin y su teoría sobre el origen de la vida (aquí se pueden incluir trabajos de científicos mexicanos, como el de don Alfonso L. Herrera, sobre el origen y la evolución de la vida), así como el desarrollo del modelo del ADN realizado por Watson y Crick. Se debe poner especial atención en brindar al estudiante un panorama de los avances recientes de la biología y de los campos que abarca. Se deben destacar características propias de los seres vivos (sus capacidades de utilización de energía, de metabolismo, reproducción, etcétera) y diferenciarlas con claridad de las de la materia inerte.

Al hablar del laboratorio escolar es importante señalar que si bien se le ha definido tradicionalmente como un espacio dinámico en donde los científicos buscan respuestas, también es posible considerar otros espacios como el campo o la propia aula. Se debe recordar constantemente al alumno que la metodología utilizada en biología depende del tipo de investigación que se pretenda y que el hombre conoce el mundo no sólo por medio de métodos directos, sino también mediante el razonamiento y la consulta bibliográfica. Este planteamiento facilita el trabajo en el grupo, pues la deducción puede auxiliar en el tratamiento de fenómenos que no es posible observar con los materiales existentes en el laboratorio escolar. Se debe detallar

cuáles son los materiales de uso común en el laboratorio, así como su función, y presentar una serie de medidas de seguridad que el estudiante deberá respetar durante su asistencia a este recinto. En el caso de las prácticas de campo es necesario brindar un panorama general de su utilidad y presentar algún ejemplo para ilustrar los materiales y metodología pertinentes.

En cuanto al sentido y utilidad de la biología, el estudiante debe establecer los elementos de contacto que existen entre esta ciencia y su vida cotidiana; sin querer implicar que la ciencia debe necesariamente ser aplicada, es importante ubicarla en un contexto cercano al estudiante.

En la **unidad temática 2** se debe señalar cómo las ideas preevolutivas consideraban al mundo viviente un sistema estático y de qué manera las evidencias y los procesos de desarrollo social generaron un cambio en esta actitud a fines del siglo XVIII. Deberán mencionarse trabajos como los de Jean Baptiste Lamarck. Es muy importante que los maestros presenten con claridad las ideas de Lamarck y marquen con precisión los conceptos erróneos de este naturalista, ya que diversas investigaciones educativas han demostrado que en los estudiantes del nivel priva un pensamiento intuitivo lamarckiano para explicar los cambios en los seres vivos.

El viaje del Beagle es un tema que puede ser tratado de manera muy amena. Es conveniente mencionar los comentarios de Darwin acerca de la enorme diversidad que encontró, su contacto con restos fósiles y, desde luego, su experiencia en las Islas Galápagos. El tema de la selección natural como mecanismo evolutivo es particularmente importante. Es necesario explicitar que la evolución carece de un "objetivo" y que la selección natural actúa sobre la variación (producida por mutaciones y otras fuentes), un concepto fundamental.

El concepto de adaptación es de gran relevancia. Nuevamente es muy importante evitar que se refuerce en los alumnos la idea de que los organismos tienen un "deseo" de mejorar. Se deben

señalar los avances en diversas disciplinas como la genética y la paleontología y cómo contribuyeron a lograr la síntesis evolutiva. Éste es un logro importante ya que marca la madurez de la biología como una ciencia independiente.

En la **unidad temática 3** debe señalarse que hay diversas teorías sobre el origen de la vida. Al tratar el tema de la generación espontánea, debe recordarse que esta creencia se originó en la antigüedad y fue mantenida hasta el siglo XIX. Por otra parte, deben analizarse teorías como la panspermia, la creacionista y la teoría de Oparin-Haldane. Es necesario subrayar que la evidencia encontrada por Miller y Urey apoya las ideas de Oparin sobre la síntesis abiótica de compuestos orgánicos.

En cuanto a la evidencia fósil, es recomendable señalar que ésta no consiste únicamente en restos de huesos, sino también en huellas y otros vestigios. Vale la pena reconocer de manera general los diversos métodos de fechamiento fósil que existen.

Al estudiar las eras geológicas, es importante explicar cuál es el criterio que se sigue para demarcarlas, así como las características más destacables de cada una. Deben ubicarse los seres vivos representativos de cada etapa y tratar de señalar cuál fue la ruta evolutiva que siguieron. Se puede aprovechar este momento para erradicar la idea de que los primeros homínidos convivieron con los grandes reptiles.

La evolución del hombre es otro tema atractivo para los estudiantes. Se puede enfatizar la importancia del estudio de los fósiles en este proceso e insistir en que la evolución humana no es un proceso lineal sino simultáneo y que es perfectamente factible que diversas especies de homínidos convivieran en un mismo momento.

El tema de la biodiversidad es relevante dada la atención que se ha puesto en señalar la importancia del patrimonio que representan los seres vivos. Se puede relacionar la diversidad biológica con procesos de adaptación. Es conveniente enfatizar la relevancia de nuestro país como una de las zonas más ricas del planeta en cuanto a su diversidad de seres vivos.

En el tema de clasificación, los estudiantes deben entender el valor y la importancia de generar categorías. Es importante que el estudiante comprenda la diferencia entre las características extrínsecas e intrínsecas de los objetos a clasificar. Se recomienda un breve análisis histórico de los primeros intentos de clasificación y la introducción al concepto de categoría taxonómica, en general, y de especie en particular. También se debe hablar de la importancia de la nomenclatura científica y los acuerdos en cuanto al sistema binominal.

Finalmente, se introducirán los cinco diferentes reinos en los que actualmente se agrupan los organismos. No es deseable una análisis muy profundo, sólo se busca que los alumnos sean capaces de entender el criterio de clasificación y manejen en términos generales el conocimiento de la diversidad biológica.

En la **unidad temática 4** es necesario deslindar el concepto de "ecología" diferenciando su significado biológico de la acepción que se ha generalizado para describir situaciones de deterioro ambiental. Se debe delimitar con claridad el campo y métodos de estudio de los procesos ecológicos. En cuanto a los factores bióticos y abióticos, sería recomendable tratar de describir su importancia en los sistemas ecológicos. Al hablar de los ciclos naturales, se recomienda distinguir la importancia de que muchos procesos naturales se retroalimenten, ya que ésta es la única solución estable que permite continuidad ambiental. Éste es un momento

adecuado para discutir brevemente los riesgos de la alteración de estos ciclos por la actividad humana.

Las cadenas alimentarias representan un concepto central de la ecología y son relativamente sencillas de entender si se analiza el problema en términos de energía. Se debe recordar que ésta fluye a lo largo de una cadena desde los organismos productores hasta los desintegradores. Debe enfatizarse la capacidad autotrófica de las plantas. El concepto de fotosíntesis debe ser tratado de manera general. Es necesario que los estudiantes entiendan el principio más que el mecanismo detallado del funcionamiento.

Es conveniente que el concepto de ecosistema sea claro y preciso. Se debe mencionar que hay muchos tipos de ecosistemas y que en todos ellos existe una compleja red de interacciones producto de miles de años de evolución. Deben mencionarse los ecosistemas más familiares para el alumno y distinguir a los organismos que los componen. También debe hacerse referencia a las características físicas de los ecosistemas y cómo éstas, a su vez, moldean las características de los seres que los habitan. Debe hacerse un énfasis particular al considerar el ecosistema local.

Es muy importante que se puedan precisar con claridad las consecuencias de la actividad humana en el ambiente. Debe mencionarse la pérdida de la biodiversidad, la tala inmoderada, el sobrepastoreo, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos. En cada caso es necesario clarificar las consecuencias concretas que estas acciones humanas tienen en el ambiente y en nuestra vida. De acuerdo con el esquema anterior, se sugiere hablar de las medidas correctivas e intentar establecer correspondencia con los problemas.

En la **unidad temática 5**, el tema de genética debe tratarse de manera general. No es deseable que los alumnos profundicen en detalles particulares pero sí que entiendan la

importancia del estudio de los procesos hereditarios en los seres vivos. Es conveniente mencionar, dentro del desarrollo histórico, las experiencias de los trabajos de hibridología, cuyo propósito consistió en mejorar las especies animales y vegetales. Estas ideas premedelianas pueden constituirse como un apoyo didáctico para la mejor comprensión de los mecanismos de la herencia medeliana.

Al hablar de los trabajos de Mendel es conveniente insistir tanto en la importancia de haber escogido el organismo adecuado para el experimento como en los resultados obtenidos que dieron lugar a la postulación de sus dos leyes y del concepto de dominancia. La introducción de métodos estadísticos en los estudios de la herencia permitió abrir un nuevo campo de investigación conocido ahora como genética.

Es importante que el alumno reconozca que las características apreciables de los organismos vivos (llamadas en su conjunto fenotipo) son causadas por la interacción de los genes (en su conjunto denominados genotipo) y el ambiente. Al hablar de gametogénesis deberá hacerse la relación entre leyes de Mendel y el comportamiento de los cromosomas, que da lugar a la formación de gametos.

Una vez establecidas las bases de la genética mendeliana, que explican la transmisión de las características de los seres vivos de una generación a otra, deberá enfocarse la atención en la relación cromosoma-genes-ADN y mencionar que es esta última molécula la que lleva información genética. No es deseable, en este punto, que el maestro profundice en la estructura química del ADN ni que explique mecanismos complejos como la síntesis de proteínas o la replicación (esto se verá en segundo de secundaria); lo que se pretende simplemente es establecer la relación entre los genes y el ADN y conocer las estructuras generales de las moléculas.

En cuanto a genética humana, el maestro deberá tratar de una manera sencilla e ilustrativa las principales alteraciones genéticas conocidas en el hombre y su forma de transmisión; deberán incluirse ejemplos como la hemofilia (enfermedad ligada al sexo), el síndrome de Down, la fenilcetonuria y el síndrome de Turner. También deberán presentarse alteraciones genéticas causados por radiación, medicamentos (talidomida, cloranfenicol) o ingestión de alimentos contaminados con metales; deberán mencionarse los estudios realizados sobre el efecto genético de los contaminantes como el plomo, mercurio, arsénico, etcétera, en la salud humana.

#### **Orientaciones Generales del programa de Segundo Grado.**

En la **unidad temática 1** deben presentarse las propiedades de los llamados bioelementos (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo), señalar que forman las moléculas de la vida y hacer énfasis en el papel del carbono. Se sugiere destacar la importancia de los compuestos orgánicos a través de ejemplos comunes y útiles para el hombre.

Para el tratamiento de biomoléculas se debe iniciar explicando las propiedades de los monómeros (aminoácidos, nucleótidos y azúcares simples ) y señalar que estos compuestos forman proteínas, ácidos nucleicos y carbohidratos complejos.

En esta sección es importante precisar la función de los ácidos nucleicos como las moléculas responsables de almacenar y transmitir la información hereditaria. Se recomienda explicar cómo se forman las proteínas a partir de las instrucciones del ADN en el núcleo celular (en el caso de los eucariotes) y enfatizar las importantes funciones metabólicas que cumplen estas biomoléculas. Es preciso señalar el papel de las enzimas como activadores de las reacciones metabólicas.

En general deben considerarse los siguientes aspectos al tratar las biomoléculas:

**fórmula general**

**función**

**componentes**

**ubicación**

En el caso de los virus y dada la cantidad de información generada en torno al sida, se deben tratar de corregir nociones erróneas. Es necesario enfatizar que los virus necesitan de otras células para sacar copias de sí mismos y en consecuencia no su clasificación como seres vivos es dudosa.

En la **unidad temática 2** se recomienda señalar la importancia histórica que tuvo el desarrollo del concepto de célula. Al hablar de la teoría celular resulta importante explicar sus postulados.

Cuando se estudie el tema de células procariontes valdría la pena subrayar el papel evolutivo de las bacterias como endosimbiontes (la evolución de diversos organelos, como los cloroplastos y las mitocondrias, a partir de bacterias que vivían en el interior de otras células) e insistir en que los microorganismos también fueron domesticados por distintas civilizaciones (como en la producción de vinos, vinagre, tepache, pulque, potzol, yogur, quesos, etcétera).

Al tratar células animales y vegetales se debe enfatizar la diferencia en la capacidad de obtención de energía de ambas. Por ejemplo, organelos como los cloroplastos son indispensables en las células vegetales y no se presentan en las células animales.

Al tratar el tema de la estructura celular deben mencionarse, en general, tres importantes sistemas funcionales: el membranal, que regula el intercambio y movimiento de sustancias en la célula; el citoplasma y los organelos (como las mitocondrias y los cloroplastos); y el núcleo, que

controla las funciones de la célula. Este enfoque permite una comprensión integrada de la estructura y función celular.

Al hablar de los cloroplastos, debe enfatizarse la importancia general de la fotosíntesis: es preferible distinguir la relevancia ecológica del proceso que resolver los detalles involucrados. No se debe pretender, por ejemplo, que el estudiante maneje la cantidad de energía asociada a la fotosíntesis, sino que distinga que el ciclo fotosintético es la base de la cadena alimentaria y que además es vital en la renovación del oxígeno atmosférico. Debe resaltarse la importancia de la protección de nuestro patrimonio vegetal. Asimismo, al hablar de las mitocondrias y la respiración, debe hacerse énfasis en la función que tienen de obtener energía a partir de los alimentos, con utilización de oxígeno y la producción de bióxido de carbono. Puede establecerse el papel complementario que hay entre la fotosíntesis y la respiración en los ciclos del carbono y el oxígeno.

La división celular es un proceso vital que se realiza a través de diferentes mecanismos. Es importante señalar las características de cada tipo de división y la variabilidad genética asociada a ellas.

En la **unidad temática 3** se recomienda que el complejo tejido-órgano-sistema no sea tratado de manera tradicional, es decir, marcando una división estricta entre animales y vegetales. Es más importante explicar las funciones generales del complejo y posteriormente enfatizar la diferencia básica entre animales y vegetales. Es deseable que se haga énfasis el funcionamiento, además de mencionar las estructuras.

Se deben identificar los siguientes rubros sobre funciones biológicas:

ubicación

utilidad principal

principales estructuras responsable

La respiración es vital para la obtención de energía. Es importante marcar la diferencia entre los movimientos respiratorios (inspiración y espiración) y el proceso de respiración en sí, es decir, el intercambio de gases entre una célula y su medio. Se puede señalar la evolución en la composición de la atmósfera y cómo la presencia de seres vivos la ha modificado. Es necesario mencionar, al hablar de respiración aerobia y anaerobia, la mayor eficiencia energética de los procesos aerobios, así como los productos finales de ambos tipos de respiración y su utilidad (por ejemplo, la respiración anaerobia puede producir el alcohol que es utilizado en la industria vitivinícola). Dado que las estructuras propias de la respiración son muy diversas, se deben marcar las principales diferencias que existen en cada una de ellas.

Los procesos de circulación pueden abordarse con datos llamativos para el estudiante como el número de latidos del corazón o la cantidad de sangre que se bombea en un año. Se deben mencionar las diferencias en los medio de circulación de los seres vivos (hemolinfa en insectos, savia en vegetales o sangre en mamíferos) y enfatizar la función de transporte de oxígeno, hormonas, nutrientes y productos finales del metabolismo que tiene el sistema circulatorio.

La nutrición debe ser abordada como un proceso que permite a los organismos fragmentar las moléculas de los alimentos en unidades más pequeñas que puedan ser absorbidas y utilizadas por las células para fabricar sus propias biomoléculas, destacando el papel de las enzimas en este proceso.

Los procesos de nutrición pueden ser enfocados a partir del concepto de nutriente y su relación con la energía. El elemento que debe destacarse es la necesidad de los seres vivos de

incorporar nutrientes a su organismo y la relación existente entre los nutrientes y las demandas metabólicas. Debe ligarse la nutrición con el proceso de excreción.

El crecimiento es una de las funciones biológicas que puede resultar más clara para los alumnos. Es importante evidenciar las diferentes velocidades de crecimiento de los organismos y su relación con la edad en la que comienzan a reproducirse. Se pueden señalar las distintas estrategias de crecimiento que siguen los seres vivos. Por ejemplo, aquellos que llegan a su talla máxima en poco tiempo para destinar energía a la reproducción en contraste con los que presentan un crecimiento a largo plazo, como los grandes árboles de las zonas boscosas.

En cuanto a las hormonas, debe señalarse el principio de su funcionamiento como activadores y desactivadores metabólicos en vegetales, animales, hongos y microorganismos. Es muy importante subrayar el papel que juegan las glándulas animales en la producción hormonal. Se deben relacionar los cambios de la pubertad con las instrucciones hormonales.

La reproducción debe enfocarse distinguiendo las diferencias entre las estrategias sexuales y asexuales y aclarando las ventajas evolutivas de la reproducción sexual. Es necesario mencionar los ciclos de vida generales de plantas y animales, así como las principales estructuras involucradas en la reproducción.

Finalmente, en el tema de percepción y coordinación, debe enfatizarse que el sistema nervioso se especializa en la percepción de estímulos, procesamiento y almacenamiento de la información y elaboración de respuestas. Los órganos de los sentidos deben ser enfocados como receptores de estímulos que permiten que las sensaciones formen un impulso nervioso, lleguen al cerebro y sean interpretadas. Es importante enfocar el sistema nervioso central como el centro de percepción e interpretación de estímulos y el sistema periférico como el que conecta al sistema

nervioso central con todo el cuerpo. El sistema nervioso autónomo se incluye dentro del periférico y su importancia radica en el control de funciones que están, en principio, fuera del control voluntario (corazón, vísceras, glándulas). Debe mencionarse que el sistema nerviosos y el sistema endocrino actúan en íntima asociación para controlar las funciones del cuerpo.

Para la **unidad temática 4**, al abordar el tema de los aparatos reproductor femenino y masculino, es conveniente iniciar explicando el concepto de caracteres sexuales primarios y secundarios y cómo durante la pubertad los procesos hormonales desencadenan los cambios que los estudiantes están experimentando. Es importante mencionar también el concepto de madurez sexual y explicar cuidadosamente la importancia de mantener una actitud responsable en el ejercicio de la sexualidad.

Al hablar de menstruación debe subrayar que se trata de un proceso fisiológico natural y cíclico, que responde a estímulos hormonales producidos por el óvulo cuando no hay fecundación. Por medio de un esquema se puede seguir la trayectoria del óvulo durante los 28 días que en promedio dura el proceso.

La relación sexual debe ser un precedente para explicar la fecundación como el producto de la unión de los gametos. Se recomienda presentar el proceso desde su origen: de la entrada del espermatozoide al útero, hasta el momento del parto. Durante las etapas del desarrollo embrionario es conveniente explicar el origen y el momento de la gestación en que se forman los órganos más notorios (cerebro, corazón, extremidades, etcétera), las membranas embrionarias y la placenta.

Al analizar el parto, debe mencionarse el rompimiento de la "fuente" y lo que esto implica, las contracciones uterinas y la estructura anatómica de la mujer, especialmente adaptada para la concepción.

El rubro de los anticonceptivos debe relacionarse de manera clara con la necesidad de una paternidad responsable. Es necesario explicar los diversos métodos (naturales, mecánicos, químicos y quirúrgicos) y ofrecer información acerca de la efectividad de cada uno de ellos, así como de las implicaciones de su uso. Es necesario subrayar la importancia social de las medidas anticonceptivas. Esto puede hacerse desde dos perspectivas: desde los problemas demográficos a nivel mundial y local, hasta una situación más cercana en la cual se discutan los problemas que puede generar una familia muy numerosa.

En el tema de las enfermedades de transmisión sexual deben explicarse las consecuencias para la salud de cada una de ellas, haciendo especial énfasis en el sida. Debe hablarse de las medidas de prevención para evitar el contagio.

En la **unidad temática 5** es muy importante señalar las características de una dieta equilibrada que contenga alimentos de los tres grupos principales (cereales y tubérculos, frutas y verduras; leguminosas y alimentos de origen natural), y cómo cada uno de los nutrientes que tomamos desempeña una función particular y aclarar el concepto de Calcio. Se deben mencionar las relaciones existentes entre dietas inadecuadas y problemas de salud (anemias, infartos, etcétera). Es deseable presentar actividades que permitan al estudiante relacionar su experiencia alimentaria con la información que se presenta en el texto.

En el caso de las enfermedades infecciosas y parasitarias, hay que presentar en primera instancia un panorama general de las más comunes, determinar cómo se adquieren y las medidas

de higiene que se pueden tomar para evitarlas . Es muy importante vincular las medidas a la experiencia cotidiana del estudiante. Se le debe estimular para que identifique los centros de salud que puede visitar para que valore la importancia que tienen como mecanismos preventivos y no sólo curativos.

En el caso de las adicciones, hay que señalar que éstas se producen generalmente durante la adolescencia y que casi siempre son producto de una necesidad de aceptación. El mensaje más importante y enfático debe centrarse en las terribles consecuencias que cada una de ellas causa en la salud humana. Debe destacarse la responsabilidad que el estudiante tiene como protagonista principal en su proceso de desarrollo y cómo es necesario que genere hábitos que le permitan mantenerse sano.

#### *¿Qué, cómo y cuándo evaluar?*

Transformar la enseñanza de las ciencias exige superar los planteamientos puntuales, elaborar un nuevo modelo que integre coherentemente los distintos aspectos del procesos enseñanza-aprendizaje sin olvidar, por supuesto, la evaluación.

La investigación didáctica ha puesto de relieve a este respecto que las innovaciones en el currículum no pueden darse por consolidadas si no se reflejan en transformaciones similares en la evaluación (Linn, 1987, citado por Gil y Guzmán, 1993). En efecto, poco importan las innovaciones introducidas o los objetivos enunciados: si la evaluación continúa consistiendo en pruebas terminales para constatar el grado de asimilación de algunos conceptos; en ello residirá el verdadero objetivo asignado por los alumnos al aprendizaje (Gil y Guzmán, 1987).

La necesidad de innovaciones en la evaluación es particularmente necesaria porque todo parece indicar que la evaluación es uno de los puntos en donde más se dificulta el proceso de

enseñanza-aprendizaje de las ciencias o, si se prefiere, donde más claramente se manifiestan sus insuficiencias. En particular, es quizá el aspecto que establece una línea de confrontación más clara entre profesores y alumnos, contribuyendo a distorsionar el clima del aula. Es también uno de los dominios en el que las ideas y comportamientos docentes "de sentido común" (inevitabilidad del fracaso de un porcentaje elevado de alumnos dado que "no todo el mundo está capacitado para las ciencias", facilidad de evaluar las materias científicas con objetividad y precisión, etc.), se muestran más persistentes. El replanteamiento de la evaluación exige, en primer lugar, el cuestionamiento de éstas concepciones que actúan como un auténtico obstáculo (Gil y Guzmán, 1987).

Se sabe que hay notables diferencias entre las puntuaciones dadas por distintos profesores a un mismo ejercicio de física o de matemáticas; y también que las notas que el mismo profesor da a los mismos ejercicios en momentos diferentes (por ejemplo, tras un intervalo de tres meses) pueden sufrir grandes oscilaciones. Mayor importancia tiene aún la enorme influencia de las expectativas del profesor. Se ha demostrado, por ejemplo que un mismo ejercicio es valorado sistemáticamente más bajo cuando es atribuido a una alumna que cuando se supone obra de un alumno; o el efecto "Pigmalión" que se traduce en valoraciones netamente más altas de aquellos ejercicios atribuidos a alumnos que se consideran brillantes (Gil y Guzmán, 1987).

Todos estos resultados cuestionan la supuesta precisión y objetividad de la evaluación en un doble sentido: por una parte, muestran hasta que punto las valoraciones están sometidas a amplísimos márgenes de incertidumbre y, por otra, hace ver que la evaluación constituye un instrumento que afecta muy decisivamente a aquello que pretende medir. Dicho de otro modo; los profesores no solo se equivocan al calificar, sino que contribuyen a que sus prejuicios -los

prejuicios de toda la sociedad- se conviertan en realidad. Las estudiantes acaban teniendo logros inferiores y actitudes más negativas hacia el aprendizaje de la física que los varones y los alumnos considerados mediocres terminan siéndolo efectivamente. La evaluación resulta ser, más que la medida objetiva y precisa de unos logros, la expresión de expectativas en gran medida subjetivas pero con una gran influencia sobre los alumnos (Gil y Guzmán, 1987).

Un segundo bloque de preconcepciones subyace en realidad tras esa búsqueda de "objetividad"; la idea de que sólo una parte de los alumnos está realmente capacitada para seguir con éxito estudios científicos. Ésta es la razón, por ejemplo, de que una determinada prueba sea considerada mejor diseñada cuanto más se ajusta a una distribución normal de frecuencias con la calificación de 5 en el centro (lo que supone que el 50% de los alumnos no alcanza el mínimo exigido). Y esa es también la razón de que un profesor que apruebe a la mayoría de sus alumnos - en una materia científica por supuesto- no sea considerado "serio". Son estas expectativas negativas las que determinan en gran medida y lejos de toda objetividad, los resultados del aprendizaje (Gil y Guzmán, 1987).

Los profesores de ciencias no suelen plantearse explícitamente la consideración del papel de la evaluación en el proceso de enseñanza-aprendizaje y cuando ello ocurre es en relación con el papel selectivo del sistema educativo. La evaluación en la enseñanza ordinaria suele ajustarse, efectivamente, a la constatación del "aprovechamiento" del alumno, asignándole una calificación que pretende servir de base objetiva para su promoción. Conviene, por supuesto, plantearse con la máxima atención esta cuestión clave de las funciones de la evaluación. Sin lugar a dudas, la evaluación es una parte importante en cualquier propuesta educativa pues el tipo de evaluación que el profesor emplea, determina finalmente la calidad del aprendizaje

promovido. Si el profesor (como sucede tradicionalmente) enfatiza en la evaluación el recuento memorístico de hechos aislados propiciará un aprendizaje temporal. Si lo que desea es obtener un aprendizaje más duradero, es preciso transformar los métodos de evaluación.

Las evaluaciones -y esa es la sugerencia del libro para el maestro (1994)- deben ser elaboradas a partir de los conocimientos que todos los estudiantes comparten, procurando no ponderar de manera única el conocimiento de las definiciones y significados de ciertos vocablos. Es preferible, distinguir lo accesorio, de lo esencial y diseñar evaluaciones con extensiones razonables que permitan identificar los conocimientos significativos del alumno, no su capacidad para retener contenidos a través del uso de mecanismos de memoria a corto plazo.

La evaluación debe ser un proceso continuo que siga los avances y reconozca los obstáculos en el proceso de enseñanza y aprendizaje. No es conveniente evaluar los temas una sola vez. Es preferible que un tema se evalúe varias veces a lo largo del año, pues así el profesor tendrá la oportunidad de realizar un seguimiento más confiable.

El uso constante de herramientas diversas de evaluación en el salón de clase es altamente deseable. Una de los métodos de evaluación que la nueva propuesta le presenta al maestro de biología es el de los mapas conceptuales. Esto son recursos esquemáticos que sirven para exteriorizar lo que el alumno sabe y que se convierten en la explicitación manifiesta de la manera en que relaciona conceptos. Ya hemos señalado que, además de la herramienta anterior, la propuesta curricular en cuanto a la evaluación, se encuentra planteada en el libro para el maestro y que se sugieren diez aspectos que pueden ser considerados en el momento de la evaluación cuya función consiste en diversificar las estrategias docentes para determinar los cambios conceptuales de sus alumnos.

Hemos revisado ya los criterios que determinaron la inclusión de ciertos contenidos, su ordenamiento y la manera en que se sugiere sean revisados y evaluados. En todo momento subyace la idea de que el aprendizaje de la biología es un asunto conceptual y que las estrategias de enseñanza tienen que rescatar esa aproximación. Los maestros de biología del país, no habían contado con un antecedente en el que se expliquen criterios y se propongan alternativas didácticas con este nivel de explicitación. El efecto de esta propuesta tendrá que documentarse cuidadosamente con el fin de alimentar modificaciones y ajustes que serán inevitables si entendemos que el diseño curricular es un proceso dinámico que evoluciona continuamente.

### **III. TRABAJO DE CAMPO**

#### **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E HIPÓTESIS DEL TRABAJO DE CAMPO**

Uno de los objetivos de este trabajo es el de poner a prueba en el espacio escolar uno de los supuestos de la propuesta curricular. Esto es importante ya que permite vincular un trabajo, el diseño curricular, con elementos de investigación en el aula. En nuestro caso y considerando la importancia que esta propuesta le ha asignado a los temas evolutivos como ineludibles del conocimiento biológico, es que se ha diseñado una aproximación metodológica para determinar si el tema de evolución, con los contenidos y estrategias didácticas planteados en el nuevo programa es legible para los estudiantes y sostiene la suposición de que la enseñanza temprana de la evolución en la escuela secundaria es un problema de estrategia didáctica. Esta idea se pondrá a prueba en una escuela privada del Distrito Federal determinando cuáles son los conocimientos que los estudiantes de 1° de secundaria poseen antes de iniciar contacto formal con el tema con el fin de establecer una comparación posterior. Asimismo, se consideró importante determinar el manejo que hacen los estudiantes de bachillerato (2° de secundaria a 6° de CCH) sobre el mismo tema y tratar de comprobar si efectivamente el tema evolutivo puede ser comprendido con mayor cabalidad por aquellos estudiantes de cursos superiores dada su "complejidad conceptual". Recordemos que Novak (1978) ha planteado que el problema tiene su origen en que las estrategias de enseñanza fallidas permiten suponer que un tema es demasiado complejo sin que esto sea realmente verdadero.

Resumamos -de manera sintética- algunas de las principales conclusiones que emanan de la caracterización de los problemas teórico y empírico y de las condiciones psicopedagógicas que se realizaron en los capítulos iniciales de este trabajo:

—La teoría de la evolución es el concepto integrador en biología, debe ser presentado como un organizador avanzado y es fundamental determinar la manera en que es conceptualizado por los estudiantes.

—La enseñanza de la biología en México se ha caracterizado por la ausencia de propuestas fundamentadas y con una serie de problemas que tienen perfiles conceptuales y administrativos.

—Uno de los supuestos de este trabajo es que el aprendizaje -entendido como un cambio conceptual- se construye a partir de los conocimientos previos del que aprende.

— Es necesario el diseño de un modelo curricular que seleccione contenidos conceptuales que se fundamenten en las bases disciplinarias de la biología y provea de estrategias de enseñanza adecuadas para llevar al máximo el aprendizaje de conceptos del que aprende.

Ante esa problemática y a la luz de la teoría constructivista de aprendizaje se pretende:

—Determinar cuáles son las ideas previas que los estudiantes tienen sobre temas evolutivos.

—Determinar si existe alguna variación en las ideas de los estudiantes sobre evolución a lo largo de su desarrollo.

—Realizar sugerencias didácticas específicas y presentarlas a los alumnos de 1° de secundaria para medir el efecto que tales estrategias tienen en el aprendizaje, entendido como una modificación conceptual.

**Se asume que la presentación introductoria de la teoría evolutiva es indispensable para la comprensión general de la disciplina. Consideramos que, si este objetivo se cumple, los alumnos:**

- Serán capaces de integrar con mayor significatividad los conceptos de biología.**
- Incrementarán su comprensión sobre los procesos evolutivos.**

## **6 MÉTODOS**

### **6.1 Muestra**

El Centro de Integración Educativa Sur (CIE), es una escuela privada laica que no buscó un fundamento teórico que sustentara su trabajo de enseñanza-aprendizaje pero que, sin embargo, sostuvo una serie de principios y valores, además de dar cierto desarrollo a las ideas de Carl Rogers acerca de generar un ambiente antiautoritario para promover la facilitación del aprendizaje (Sánchez y Salgado, 1988).

El Centro de Integración Educativa Sur cuenta con niveles de preescolar, primaria, secundaria y CCH (estos dos últimos niveles llamados genéricamente bachillerato). Este trabajo se llevó a cabo durante el ciclo escolar 1993-1994 y la muestra comprendió a todos los alumnos de bachillerato ( $N= 214$ ), esta elección se hizo con base en varios antecedentes de investigación que sugieren que el aprendizaje sobre temas evolutivos presenta los mismos problemas en diferentes categorías de edad y que las ideas equivocadas de un estudiante del nivel básico no son muy diferentes a las que posee un alumno de niveles superiores (Deadman y Kelly, 1978; Brumby, 1979; Bishop y Anderson, 1990).

A todos los grupos (con excepciones debidas a problemas internos de la escuela que se explican más abajo) se les aplicaron los exámenes argumentativo y conceptual al iniciar los cursos en el mes de noviembre de 1993.

Es importante aclarar que este es un estudio de caso y no tiene la intención de llegar a conclusiones generalizantes ya que se trata de una sola escuela con una muestra específica, lo que implica que la validez de las conclusiones se limite únicamente a este ámbito de estudio.

## 6.2 El libro de texto

Un primer análisis se refirió al libro de texto adoptado por el Centro de Integración Educativa Sur para el curso de biología en 1° de secundaria. Este texto representa una opción explícita de información sobre el tema de la evolución que los estudiantes de este grado y esta escuela revisan cotidianamente. Es por ello que se consideró pertinente determinar la manera en la que se presentaba el tema.

Varios han sido los autores que señalan la importancia del libro de texto en el ámbito escolar como una fuente primaria de información científica (Carrick, 1982; Hernández, 1993). Nueve de cada diez maestros utilizan el libro de texto el 90 % del tiempo (Yager y Penick, 1983). El libro de texto permite al investigador realizar análisis puntuales acerca de las características de la propuestas educativas (Osborne y Wittrock, 1985; Novak y Gowin, 1988) y es usado con una gran frecuencia en los estudiantes de los primeros cursos de secundaria (Tamir y Amir, 1987), en algunos casos de forma abusiva, obligando al alumno a realizar transcripciones sin sentido educativo (Hardie, 1987).

El libro de texto elegido en el CIE para 1° de secundaria es: *Biología I* de Ma. Agustina Batalla Zepeda y Humberto Méndez Ramírez, editado en 1992 por Kapeluzs Mexicana. El texto consta de 318 pp. divididas en las cinco unidades propuestas por el programa oficial Un análisis de los contenidos arroja resultados dignos de destacarse; de las 279 páginas que efectivamente se han utilizado para cubrir los temas (el resto de las páginas pertenecen a índice, glosario y otros elementos editoriales) 171 (61 %), se han destinado a la Unidad II "Células tejidos y órganos". En contraste el resto de las Unidades tienen un número de páginas notablemente más reducido (Unidad I: 38; Unidad III: 22; Unidad IV: 32; Unidad V: 16). Considerando como un criterio de la importancia de cada tema el número de horas destinadas a estudiarlo, una lectura de estos datos indicaría que, desde la óptica de los autores y de las autoridades educativas la estructura

de los seres vivos es el tema prioritario en un curso de biología para estudiantes de primero de secundaria. Esto representa un problema grave ya que los procesos biológicos, sustento del pensamiento biológico y en consecuencia precedente necesario en cualquier curso, son abordados de manera secundaria y en algunos casos (interacciones de los ecosistemas) ignorados.

El tema de evolución, al momento de realizar el estudio, se inscribe dentro de la Unidad IV y es tratado en 3.5 páginas, es decir el 1% del total del texto. El tratamiento que se le da al tema es poco ordenado e inclusive presenta inexactitudes. Primero se explica el concepto de evolución biológica, luego se señalan dos criterios “el fijismo y el evolucionismo” sin generar ninguna conclusión al respecto, finalmente se habla de modificaciones de los organismos de una misma especie sin explicar el sentido de esta información.

El primer subtítulo es “El mecanismo de la evolución”. En primer lugar se explica que la teoría de Evolución está plenamente aceptada en la actualidad y luego se explican brevemente las ideas de Lamarck para concluir que son inaceptables. En ningún momento se explican los mecanismos de la evolución como lo sugiere el subtítulo.

El siguiente subtítulo es “La Selección Natural”. En esta parte se explica que Carlos Darwin publicó sus ideas en el libro titulado *El origen de las especies* y contiene tres principios: Variaciones individuales, lucha por la existencia y selección natural. El texto no explica el origen de las variaciones y se refiere en términos decididamente antropocéntricos y poco cuidadosos desde un punto de vista didáctico, a la idea de que: “en cuanto nacen, los organismos inician una intensa lucha por sobrevivir”. Al hablar de que los individuos “mejor” (otro término poco afortunado) adaptados sobreviven, no se explica porqué este proceso tendría que determinar la aparición de nuevas especies aunque se menciona una relación causal. Finalmente se habla de objeciones actuales a la teoría darwiniana pues “se ha demostrado que la fortaleza no siempre garantiza la supervivencia y que además de los caracteres útiles también se heredan los

desfavorables". Esta última frase es notable por su falta de exactitud; en primer lugar el criterio de selección natural más preciso nunca ha sido el de fortaleza, sino el de la capacidad de un individuo para dejar descendencia (adecuación) (Reiss, 1985). Por otro lado el concepto de herencia es por primera vez introducido en el texto sin ninguna referencia previa (se abordará 10 páginas después).

Finalmente el último subtítulo es: "Otros procesos evolutivos" y en él se habla de que "la evolución se debe a la acumulación de pequeños cambios genéticos" y "entre los mecanismos de cambios genéticos se hallan la selección natural y las mutaciones. Las mutaciones pueden definirse como cambios repentinos y hereditarios que se presentan en los caracteres del individuo".

Nuevamente llaman la atención las inexactitudes cometidas por los autores. En realidad la selección natural y las mutaciones, lejos de ser procesos análogos se hallan en niveles diferentes (ver mapa conceptual más abajo). La selección natural actúa sobre la variación producida por las mutaciones. No se mencionan otras fuentes importantes de variación como las migraciones y la recombinación genética. El último párrafo presenta un nivel de lengua probablemente inaccesible para un estudiante de 12 años, no es claro de ninguna manera, por ejemplo, cuales son los "caracteres del individuo".

Posteriormente se explica que las mutaciones tienen orígenes naturales y artificiales y que pueden ser favorables o desfavorables. El texto explica que la cruce de individuos con mutaciones favorables modifica la especie, sin precisar la razón de estos cambios.

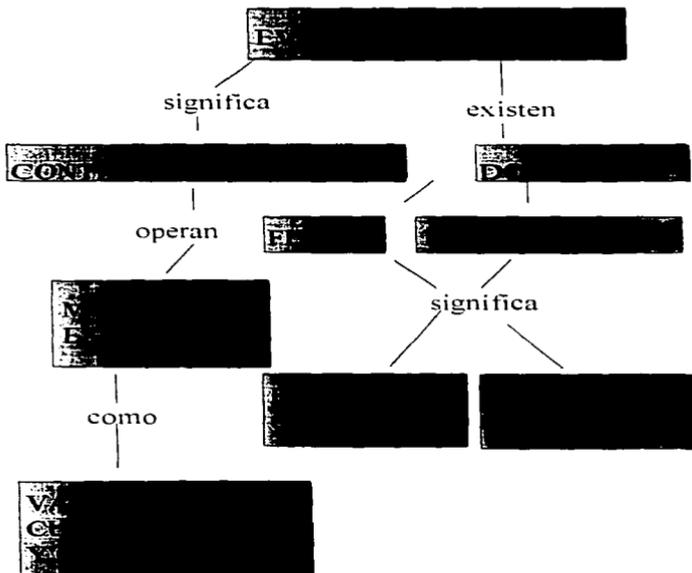
En ningún momento el texto explica el desarrollo de la síntesis evolutiva a principios de este siglo y como esta teoría trajo la aceptación definitiva de la Evolución como el mecanismo de transformación de los seres vivos.

Después de esta lectura no debería sorprendernos el hecho de que los estudiantes al

terminar la lección no aprendieran, ni siquiera vagamente cual es el mecanismo de acción evolutiva, problema que definitivamente obstaculizará su comprensión de conceptos biológicos.

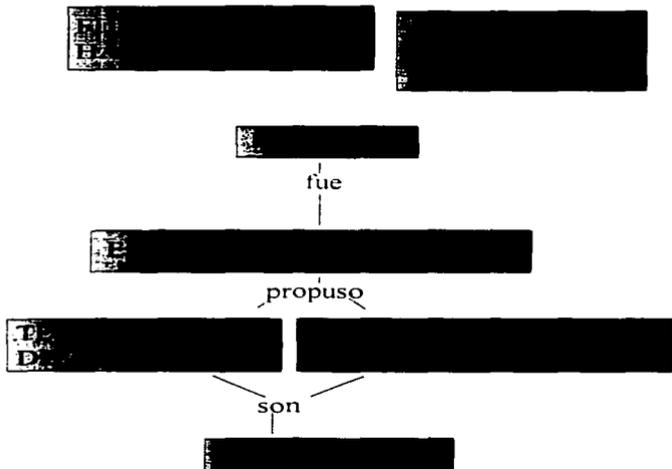
Ya hemos explicado en la sección 3.4 cuál es el valor que tienen los mapas conceptuales como herramientas de análisis de libros de texto. Se decidió utilizar esta estrategia para caracterizar algunos de los errores conceptuales que se han descrito más arriba, los resultados se presentan a continuación:

# I. Evolución biológica (según Batalla y Méndez, 1992)

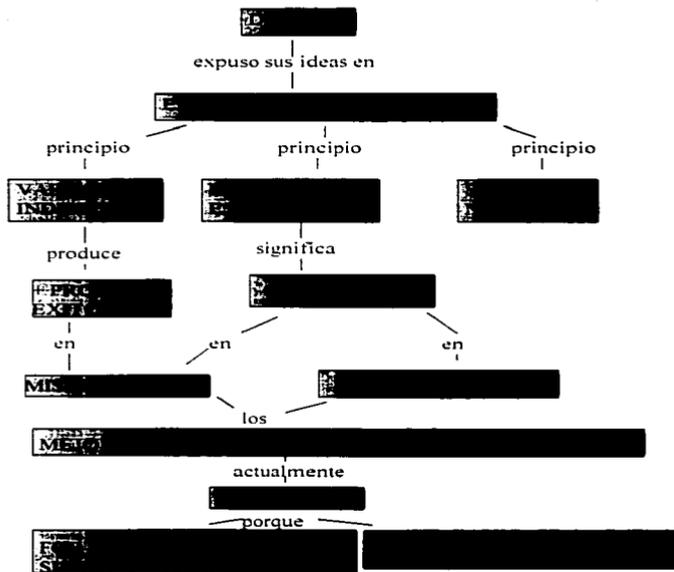


## II. El mecanismo de la evolución

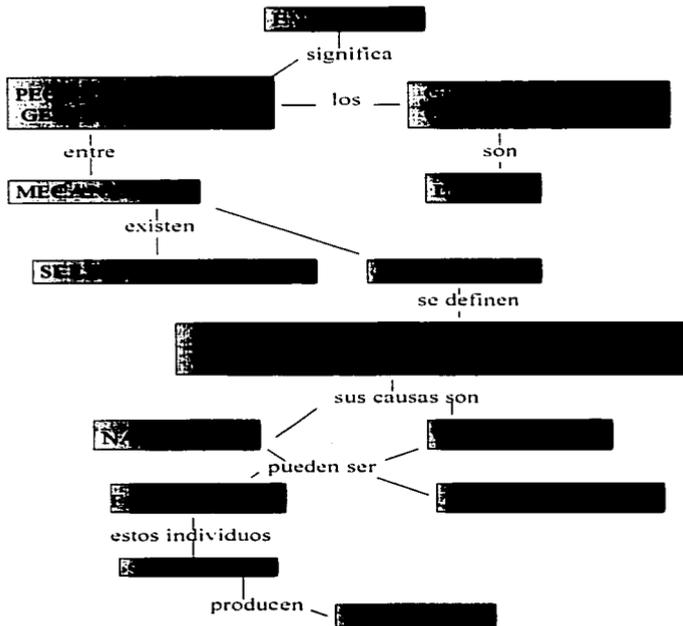
(según Batalla y Méndez, 1992)



### III. El mecanismo de la evolución (según Batalla y Méndez, 1992)



#### IV. Otros procesos evolutivos (según Batalla y Méndez, 1992)



## 6.3 Trabajo de campo

### 6.3.1 Prueba piloto

Con el fin de determinar si las preguntas que se presentan más abajo eran comprendidas por estudiantes de primero de secundaria y sus respuestas permitían un análisis en los términos que se describen más abajo, se aplicó, con fines de pilotaje, el siguiente cuestionario (al que llamaremos en adelante, con fines de descripción, *examen argumentativo*) a 30 estudiantes de primero de secundaria de la Escuela Secundaria Diurna 170 del Distrito Federal en el mes de mayo de 1993. Los estudiantes no habían recibido contacto formal con el tema de evolución:

- 1) ¿Los animales y las plantas han sido siempre los mismos o han cambiado? ¿Por qué? (Cambio en el tiempo)
- 2) Da algunas razones que expliquen por qué los animales que viven en la nieve son blancos. (Adaptación)
- 3) ¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes? (Herencia)
- 4) Si a un perro le cortan la cola y las orejas ¿cómo nacerán sus hijos? ¿por qué? (Caracteres adquiridos)
- 5) En una población de animales, ¿tú crees que todos los individuos que nacen cuando llegan a adultos se reproducen? (Selección natural)

Las razones que justifican cada pregunta se ofrecen a continuación:

1) Dentro del cuestionario, el primer concepto fundamental es el de *cambio en el tiempo*; la evolución descansa sobre una idea de transformación, es decir, sobre el concepto de que los organismos vivientes han sufrido modificaciones a lo largo del tiempo. La idea alternativa descansa en el principio teológico de inmutabilidad en el que se presenta la idea de que los organismos fueron creados en una primera ocasión y desde entonces no han cambiado. En los

alumnos puede coexistir, aparentemente sin ningún conflicto, un pensamiento de tipo religioso con un pensamiento científico. Guerra y Zamora (1993) encontraron que los alumnos de secundaria manejan ambas explicaciones. Aparentemente los estudiantes pueden repetir las ideas de los científicos o las ideas religiosas de acuerdo al contexto en el que se encuentran pero en el momento de requerir su opinión se crea un conflicto. Resulta claro que un conflicto lógico o epistemológico en la estructura de un concepto puede determinar confusión en los estudiantes y así lo sugiere Bloom (1989).

2) La segunda pregunta: da algunas razones que expliquen porque los animales que viven en la nieve son blancos, explora las ideas que tienen los niños sobre *adaptación biológica*, otro elemento esencial de la teoría evolutiva. Los niños generalmente creen que este proceso, a lo largo de la vida de un organismo, es un "cambio para mejorar" hay cada vez un número mayor de individuos adaptados que cambian por voluntad. Es notable en este caso la similitud de esta idea con la expresada por Lamarck un científico francés precursor de Darwin y uno de los primeros naturalistas en externar un pensamiento transformista. Algunos reportes plantean que la visión teleológica priva entre los alumnos de 12 y 16 años (Engel y Wood, 1985a) y que su concepto de adaptación es el de un producto terminado como respuesta a un cambio ambiental. En un estudio realizado recientemente, sólo uno de cada diez estudiantes demostró un conocimiento adecuado sobre el tema de adaptación y no se notó un incremento en la capacidad de los alumnos entre 12 y 14 años pero sí con los alumnos de 16 (Engel y Wood, 1985a).

3) La tercera pregunta se relaciona con el concepto de *variación*. La variación es un concepto clave para comprender la evolución. Es sobre las diferencias en los organismos que la selección natural tiene un sustrato para operar. Esta variación ya existe entre los organismos y no se produce a resultas de los cambios ambientales como los alumnos creen. La variación es un concepto que los alumnos no manejan (Guerra y Zamora 1993) probablemente porque ésta no

siempre es evidente en la naturaleza. No existe en los alumnos claridad en cuanto a los orígenes de la variación. Los estudiantes no entienden a la Evolución como un proceso en el que se involucren aspectos probabilísticos, y carecen por completo de información acerca de las fuentes de variación de los organismos. Poseen únicamente la idea de que la herencia es la transmisión de caracteres de una generación a otra. Sus ideas acerca de la aparición de nuevas características se basan en la experiencia. Palabras como gen o cromosoma son utilizadas sin que aparentemente los estudiantes comprendan su significado (Deadman y Kelly, 1978).

4) La cuarta pregunta se propone para investigar cuál es la idea de los niños respecto a la *herencia de los caracteres adquiridos*. Uno de los errores conceptuales más comunes en la percepción de los niños es el que plantea que los eventos ocurridos a lo largo de la vida de un organismo pueden ser transmitidos a sus descendientes aunque carezcan de una base genética (Kargbo et al, 1980).

5) La quinta pregunta sondea la idea que tienen los niños sobre *selección natural*. De acuerdo a la teoría evolutiva, no todos los organismos se llegan a reproducir, algunos tienen características más ventajosas que otros y esto determina un diferencial reproductivo, al mecanismo que genera esta reproducción diferencial se le conoce como Selección Natural. En general los niños creen que cada vez existen más individuos adaptados y no relacionan la eliminación de caracteres con la selección de individuos dentro de la población (Guerra y Zamora, 1993).

El cuestionario se aplicó a los alumnos explicándoles que no tendría efecto en la evaluación. No se aplicó límite de tiempo ni de extensión en la respuesta.

### **6.3.2 Resultados de la prueba piloto**

Los resultados de la prueba piloto indicaron que en general las respuestas de los alumnos podían ser analizadas de acuerdo a los criterios establecidos. En el caso de la pregunta 2: *¿Da algunas razones que expliquen porque los animales que viven en la nieve son blancos?* Era claro para los estudiantes que existía una relación entre el color del animal y el ambiente en el que vive. Para profundizar en la consistencia de esta relación se diseñó una pregunta más para el examen experimental: *¿Qué pasaría si el ambiente cambiara y la nieve desapareciera?* En la que se exploran las ideas de los estudiantes no sólo en cuanto a la relación que existe entre una estructura y el ambiente, sino con respecto al efecto que determinan los cambios ambientales en los organismos. Se explicó, por supuesto, que este evento de desaparición de la nieve era gradual.

Con el fin de obtener una definición más explícita y ante la probable confusión del término *adaptación* en su uso cotidiano (diferente al que tiene en términos científicos) se agregó una segunda pregunta: *¿Qué entiendes por adaptación biológica?*

Además se hizo una modificación a la pregunta 4 ya que se encontró que la experiencia de los alumnos con perros era muy cercana por lo que las respuestas en el sentido de que los animales nacieran sin cola podría reflejar sus observaciones directas sin que hubiera implícita una comprensión cabal del proceso hereditario. La pregunta quedó de la siguiente manera: *¿Si a una vaca le cortan los cuernos, cómo nacerán sus hijos? ¿por qué?*

Se procuró que en todos los casos el sentido de la pregunta quedara completamente claro para los estudiantes. De esta manera se explicó, por ejemplo, que la pregunta 2 se refería sólo a los animales blancos que viven en ambientes con nieve. En el caso de la pregunta 4 se especificó que el término *padre* era genérico y en el caso de la pregunta 5 se aclaró que algunas vacas si tienen cuernos, ante el argumento de los estudiantes en el sentido de que las vacas carecen de cuernos.

El examen argumentativo quedó como sigue:

- 1) ¿Los animales y las plantas han sido siempre los mismos o han cambiado? ¿Por qué?
- 2) Da algunas razones que expliquen por qué los animales que viven en la nieve son blancos.
- 3) ¿Que pasaría si el ambiente cambiara y la nieve desapareciera?
- 4) ¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes?
- 5) Si a una vaca le cortan los cuernos ¿cómo nacerán sus hijos? ¿Por qué?
- 6) En una población de animales, ¿tú crees que todos los individuos que nacen cuando llegan a adultos se reproducen?
- 7) ¿Qué entiendes por adaptación biológica?

### 6.3.3 Criterios de análisis

En el examen argumentativo se trasciende la opción correcto-incorreto. Las respuestas de los estudiantes permiten identificar diversas categorías que pueden ser consistentes o no con la teoría científica. Settlage (1994), por ejemplo, utilizó categorías de uso, de necesidad, adaptativas y de mutación en un estudio similar. Las categorías utilizadas en este trabajo se presentan más abajo (primera categoría). Prácticamente todas fueron decididas *a priori*. Sin embargo, la diversidad de respuestas de los estudiantes motivó la creación de nuevas categorías.

Una vez realizada la categorización de las respuestas de los estudiantes, estas categorías se agruparon en otras más generales e inclusoras bajo el criterio de distinción entre los conceptos científicamente aceptados y los que no lo son dentro de la teoría evolutiva. Esto con el fin de sondear la proporción de los estudiantes maneja ideas compatibles con la teoría científica (Segunda categoría). Se eligieron tres categorías: la *científicamente válida* en la que las categorías agrupadas corresponden a las ideas científicas; la *científicamente no válida*, en la que las respuestas no corresponden a estas ideas y la *no fundamentada*, en la que los estudiantes presentaron respuestas no relacionadas con la pregunta o en las que explícitamente se encontró la respuesta “no sé”. Estas son las categorías de análisis:

1. ¿Los animales y las plantas han sido siempre los mismos o han cambiado?

#### **Primera categoría**

- Han cambiado
- Depende
- No han cambiado

#### **Segunda categoría**

- Científicamente válida
- Científicamente no válida
- Científicamente no válida

¿Por qué?

**Primera categoría**

- Evolución
- Adaptación
- Mutación
- Cambio ambiental
- Selección natural
- Perfección
- Antropocéntrica
- No fundamentada

**Segunda categoría**

- Científicamente válida
- Científicamente no válida
- Científicamente no válida
- No fundamentada

2. Da algunas razones que expliquen porque los animales que viven en la nieve son blancos

**Primera categoría**

- Razón adaptativa correcta
- Razón adaptativa incorrecta
- No fundamentada

**Segunda categoría**

- Científicamente válida
- Científicamente no válida
- No fundamentada

3. ¿Qué pasaría si el ambiente cambiara y la nieve desapareciera?

**Primera categoría**

- Se adaptan\*\*
- Algunos se adaptan\*\*
- Cambian
- Migran
- Se extinguen\*
- Nada

**Segunda categoría**

- Científicamente válida
- Científicamente válida
- Científicamente válida
- Científicamente válida
- Científicamente no válida

• No fundamentada

No fundamentada

• Si bien la categoría “se extinguen” es científicamente válida no se considera en el análisis como tal puesto que ejemplifica una idea claramente diferente a la de las categorías válidas que sugieren una respuesta adaptativa del organismo.

• La diferencia entre ambas categorías es que los alumnos marcaron explícitamente la diferencia. Es decir, mientras algunos estudiantes contestaban “se adaptan” (lo que sugiere que piensan en toda la población), otros estudiantes contestaron “algunos se adaptan” lo que sugiere que asumen que existen organismos que no se adaptan.

4. ¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes?

**Primera categoría**

**Segunda categoría**

• Diferentes genes

Científicamente válida

• Diferentes parientes

Científicamente válida

• Por evolución

Científicamente válida

• No fundamentada

No fundamentada

5. Si a una vaca le cortan los cuernos ¿cómo nacerán sus hijos?

**Primera categoría**

**Segunda categoría**

• Con cuernos

Científicamente válida

• Sin cuernos

Científicamente no válida

• Depende

Científicamente no válida

• No fundamentada

No fundamentada

¿Por qué?

**Primera categoría**

- No tiene nada que ver
- La mutilación no es genética
- Porque son caracteres adquiridos
- Porque el corte ocurre cuando ya se formaron los cuernos
- Los cuernos son necesarios
- No fundamentada

**Segunda categoría**

- Científicamente válida
- Científicamente válida
- Científicamente válida
- Científicamente no válida
- Científicamente no válida
- No fundamentada

6. En una población de animales ¿tu crees que todos los individuos que nacen cuando llega a adultos se reproducen?

**Primera categoría**

- No
- Si
- Depende
- No fundamentada

**Segunda categoría**

- Científicamente válida
- Científicamente no válida
- Científicamente no válida
- No fundamentada

**7. ¿Qué entiendes por adaptación biológica?**

<b>categoría</b>	<b>Segunda categoría</b>
• Adaptación para sobrevivir	Científicamente válida
• Adaptación al medio	Científicamente válida
• Cambios para adaptación	Científicamente válida
• Adaptación a un medio diferente	Científicamente válida
• Adaptación animal	Científicamente no válida
• Antropocéntrica	Científicamente no válida
• Adaptación imperativa	Científicamente no válida
• No fundamentada	No fundamentada

Las respuestas ilegibles se eliminaron y aquellas en las que el alumno contestó "no sé", o una respuesta sin relación a la pregunta se agruparon dentro de la categoría de "no fundamentadas". La pregunta 1: ¿Los animales y las plantas...? y la pregunta 5: ¿Si a una vaca...? contienen además la pregunta ¿por qué? que se le demanda al estudiante después de su explicación. Se excluyeron de la muestra las respuestas a este cuestionamiento cuando los estudiantes contestaron "no" o "no sé" en el caso de la pregunta 1 y la 5.

#### 6.3.4 Examen conceptual

Para analizar la diferencia entre un examen que apela a recursos de argumentación con otro que sondea conceptos formales sobre el mismo tema y con el fin de controlar si algunos de los conceptos utilizados por los alumnos son realmente comprendidos, se diseñó el siguiente cuestionario (al que nos referiremos en adelante, con fines de descripción, como *examen conceptual*). Este examen no fue piloteado.

- 1) ¿Que entiendes por evolución?
- 2) ¿Que entiendes por selección natural?
- 3) ¿Que entiendes por adaptación?
- 4) ¿Que entiendes por mutación?
- 5) ¿Que entiendes por variabilidad?
- 6) ¿Por qué crees que los seres vivos han cambiado a lo largo del tiempo?
- 7) ¿Cómo crees que los seres vivos han cambiado a lo largo del tiempo?

En el caso del examen conceptual, se determinó el uso de tres criterios de evaluación. Respuesta correcta (C), respuesta incorrecta (I) y respuesta parcialmente correcta (P). Esto con el fin de abrir posibilidades de análisis. Settlage (1994) usó por ejemplo las categorías apropiado e inapropiado en un estudio similar.

Las respuestas ilegibles se eliminaron y aquellas en las que el alumnos contestó "no sé" se agruparon dentro de la categoría de incorrectas.

Una respuesta completamente correcta es aquella en la que los elementos que aporta el alumno son plenamente consistentes con la teoría biológica ofrecida. La respuesta parcialmente correcta es aquella en la que el alumno maneja por lo menos un concepto adecuadamente pero

no lo enlaza dentro de una estructura teórica o es incompleto. Una respuesta completamente incorrecta es aquella en la que el estudiante no ofrece ningún elemento que permita considerar que ha comprendido el concepto que se evalúa

#### **6.4 Réplicas**

Uno de los propósitos de este estudio es determinar si los estudiantes de primero de secundaria son capaces de modificar sus conceptos sobre aspectos evolutivos. Los exámenes aplicados en noviembre fueron previos a que los estudiantes tuvieran contacto formal con el tema (en adelante nos referiremos a la aplicación de dichos exámenes como *Fase I*). Una semana después de la aplicación de estos exámenes, los estudiantes de los dos grupos de primero de secundaria tuvieron (de acuerdo al nuevo programa de biología) su primer contacto formal con el tema e iniciaron la unidad de evolución. El maestro recibió y empleó las sugerencias didácticas que se ofrecen en la sección 3.1.3 de este trabajo y tuvo acceso a las respuestas (sin analizar) que sus estudiantes ofrecieron en los exámenes mencionados con el fin de determinar lo que sus alumnos sabían sobre el tema. El maestro que impartió los temas es el que trabajó todo el año con ambos grupos. La presentación del tema de evolución tomó 6 semanas con tres horas de trabajo por semana.

En el mes de junio de 1994, veintiocho semanas después, los exámenes argumentativo (sólo en 1B) y conceptual, volvieron a aplicarse a los mismos alumnos de los dos grupos de secundaria (en adelante nos referiremos a la aplicación de dichos exámenes como *Fase II*). Los grupos analizados se presentan en la siguiente tabla. La nomenclatura es la que utiliza la propia escuela para distinguirlos y no implica diferencia alguna, es decir, no existe un criterio que diferencie a los alumnos de 1A de los de 1B de secundaria:

**Examen argumentativo**

**Secundaria**

1A

1B

2A

2B

3A

3B

**Fase I- Fase II: 1B**

**Examen conceptual**

**Secundaria**

1A

1B

2B

3A

3B

**Fase I- Fase II: 1A; 1B**

**CCH**

1A

3A

3B

5 Química

5 Biología

**CCH**

1B

3A

3B

5 Biología

## **7 RESULTADOS DEL TRABAJO DE CAMPO**

### **7.1 Respuestas que ejemplifican cada categoría (exámenes argumentativo)**

Se ofrece, a continuación una serie de respuestas de algunos estudiantes que fueron seleccionadas para ilustrar la manera en que fueron utilizados los criterios señalados más arriba.

#### **1. ¿Los animales y las plantas han sido siempre los mismos o han cambiado?**

<b>categoría</b>	<b>ejemplo</b>
• Han cambiado	(Han cambiado)
• Depende	(Depende)
• No han cambiado	(No han cambiado)

¿Por qué?

<b>categoría</b>	<b>ejemplo</b>
• Evolución	(Cambiaron para evolucionar)
• Adaptación	(Cada tipo de animal cambia para adaptarse a su medio)
• Mutación	(Por mutación)
• Cambio ambiental	(Han cambiado a través del tiempo y debido a los diferentes cambios terrestres)
• Perfección	(Han cambiado porque cada vez han ido teniendo un mayor coeficiente mental y han ido teniendo mejores maneras de reproducirse y de vivir)
• Antropocéntrica	(Si los animales no evolucionaran no existiría la raza humana porque era necesario que la tierra fuera siempre igual)
• Selección natural	(Evolucionaron por selección natural)

- No fundamentada

2. Da algunas razones que expliquen porque los animales que viven en la nieve son blancos

**categoría**

**ejemplo**

- Razón adaptativa correcta (Para mimetizarse, para confundirse entre la nieve)
- Razón adaptativa incorrecta (La piel blanca los abriga más)
- No fundamentada

3. ¿Qué pasaría si el ambiente cambiara y la nieve desapareciera?

**categoría**

**ejemplo**

- Se adaptan (Se adaptan)
- Algunos se adaptan (Algunos se adaptan)
- Cambian (Cambian)
- Migran (Migran)
- Nada (Nada)
- Se extinguen (Se extinguen)
- No fundamentada

4. ¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes?

**categoría**

**ejemplo**

- Diferentes genes (Porque tienen diferentes genes)
- Diferentes parientes (Porque tienen diferentes parientes)
- Por evolución (Por la evolución)
- No fundamentada

5. Si a una vaca le cortan los cuernos ¿cómo nacerán sus hijos?

**categoría**

- Con cuernos (Con cuernos)
- Sin cuernos (Sin cuernos)
- Depende (Depende)
- No fundamentada

¿Por qué?

**categoría**

- Los cuernos son necesarios (Porque necesitan los cuernos)
- No tienen nada que ver (No tiene nada que ver)
- La mutilación no es genética (El corte no es genético)
- Porque el corte ocurre cuando (Le cortaron los cuernos cuando ya se habían formado)  
ya se formaron los cuernos
- Porque son caracteres adquiridos (El corte es una característica adquirida)

6. En una población de animales ¿tu crees que todos los individuos que nacen cuando llega a adultos se reproducen?

**categoría**

- Si (Si)
- No (No)
- Depende (Depende)
- No fundamentada

## 7. ¿Qué entiendes por adaptación biológica?

<b>categoría</b>	<b>ejemplo</b>
• Adaptación animal	(Cuando un animal tiene que cambiar con respecto al ambiente)
• Antropocéntrica	(Es cuando te adaptas al medio)
• Adaptación al medio	(Que los seres vivos se adaptan al medio ambiente en el que viven)
• Cambios para adaptación	(Es el cambio que realizan los seres vivos para adaptarse)
• Adaptación imperativa	(Los organismos se tienen que adaptar al medio)
• Adaptación a un lugar	(Cuando los organismos se adaptan a un diferente nuevo lugar)
• Adaptación para	(Los cambios en un organismo para sobrevivir)
• No fundamentada	

**7.1.1 Respuestas que ejemplifican cada uno de los criterios utilizados (examen conceptual).**

**(C= Correcta; I= Incorrecta; P= Parcialmente correcta)**

1.- ¿Qué entiendes por evolución?

- C. Es el proceso por el que se transforman los animales, los vegetales, etc. y se adaptan al medio en el que viven.
- I. Es el cambio del hombre para lograr la perfección.
- P. Cuando algo va cambiando a través de años.

2.- ¿Qué entiendes por selección natural?

- C. El individuo mejor adaptado sobrevive
- I. Es cuando sigue el mismo espécimen pero se va transformando.
- P. Son los individuos mejor adaptados a su medio.

3.- ¿Qué entiendes por adaptación?

- C. La capacidad de un ser vivo para acoplarse al medio.
- I. Pues las diversas especies se les dice como adaptación.
- P. Alguien se tiene que adaptar a la temperatura y de otras cosas si quiere vivir donde quiere.

4.- ¿Qué entiendes por mutación?

- C. Alteración de la información genética
- I. Es otra forma de informar a nosotros de la genética. Es otro tipo de información.
- P. Es cuando por medio de la evolución hay cambios físicos en un ser vivo.

5.- ¿Qué entiendes por variabilidad?

- C. Que una misma raza de animales tenga varios tipos de picos (por ejemplo), y se utilice para tener varias comidas (cada pájaro come algo distinto y la comida es algo distinta).
- I. Es la cantidad de especies que hay en un ecosistema.
- P. Que hay diferentes tipos.

6.- ¿Por qué crees que los seres vivos han cambiado a lo largo del tiempo?

- C. Porque el ambiente y la tierra han cambiado
- I. Por su medio ambiente.
- P. Porque pasan los años y con el tiempo se va cambiando todo.

7.- ¿Cómo crees que los seres vivos han cambiado a lo largo del tiempo?

- C. Con lentas mutaciones y así cada nuevo ser vivo está más adaptado a su medio ambiente que los seres vivos anteriores.
- I. Pues por los años.
- P. Cada generación cambia un poco, es como la evolución del hombre.

**7.2 Resultados del examen argumentativo por pregunta y por nivel (en el caso de primero de secundaria se analizan las respuestas de la Fase I)**

**Pregunta 1. Los animales y las plantas ¿han sido siempre los mismos o han cambiado? ¿Por qué?**

Los estudiantes de todos los niveles tienen claro el concepto de cambio en el tiempo. En promedio por grupo el 98 % de los alumnos respondieron que los animales y las plantas han cambiado en la medida que el tiempo transcurre (Tabla 1; Figura 1). Esta respuesta se agruparía en una categoría creada con fines de análisis como *científicamente válida*.

En el momento de sondear acerca de las causas de estos cambios se marcaron algunas diferencias. La explicación que mayor proporción de respuestas obtuvo (45%) fue la evolutiva, es decir, los animales y las plantas han cambiado por evolución. La segunda y la tercera razones utilizadas fueron por cambio ambiental (20%), es decir, los organismos cambian porque el ambiente cambia, y adaptación (17%) es decir, los organismos cambian para adaptarse al ambiente. Los estudiantes de los grados más avanzados recurrieron con mayor frecuencia al concepto *evolución* como la razón del cambio, mientras que los estudiantes de grados inferiores utilizan con mayor frecuencia razones incorrectas en términos científicos como las antropocéntricas o de necesidad. Conceptos como mutación y selección natural fueron utilizados únicamente por un grupo de tercer semestre de CCH (Tabla 2; Figura 2).

Dentro de las *razones científicamente válidas*, los estudiantes utilizaron 5 categorías para explicar los cambios: evolución, cambio ambiental, adaptación, selección natural y mutación, todas ellas ideas aceptadas. La categoría de *razones científicamente no válidas*, incluyó las respuestas antropocéntricas y las de perfeccionamiento, en las que los estudiantes argumentan que los cambios en plantas y animales se deben a un deseo de perfección o que culminan con el

ser humano. Finalmente en la categoría de respuesta *no fundamentada*, se agruparon todas las respuestas no relacionadas con la pregunta o en las que explícitamente el estudiante plantea: “no sé”.

Las razones científicamente válidas agruparon la mayoría de las respuestas (84%), mientras que las no válidas y las no fundamentadas obtuvieron un 5% y un 10% respectivamente. Esto sugiere que los estudiantes explican los cambios en las plantas y los animales utilizando argumentos que pueden considerarse correctos.

Para analizar cada nivel escolar se consideraron las diferencias en el porcentaje por grupo por pregunta, con respecto al promedio global de razones científicamente válidas (84%). Cuando el promedio del grupo fue mayor al promedio global se indicó como (+), si el promedio fue menor se indicó con (—) y si fue igual con (=). El mismo procedimiento se siguió para el resto de las respuestas (Tabla 3). De esta manera se obtuvo una frecuencia del número de preguntas en la que cada grupo estaba por arriba del promedio global y generar, de esta manera, un indicador comparativo del desempeño de cada grupo.

En el caso de las razones que explican el cambio en las plantas y animales a lo largo del tiempo, se encontró que los grupos de los niveles más bajos (1A, 1B, 2A, 2B, 3B, todos ellos de secundaria) presentaron un porcentaje de respuestas correctas por abajo del promedio, lo que sugiere que más estudiantes usan respuestas correctas en los grados más avanzados.

**Pregunta 2.** *Da algunas razones que expliquen por que los animales que viven en la nieve son blancos.*

Las respuestas adaptativas correctas se consideraron como *razón científicamente válida*. En ellas los estudiantes explicaban que el color se debe a una adaptación que permite a los organismos confundirse con el ambiente que los rodea. La segunda categoría presenta a las

respuestas de los estudiantes que también tienen una base adaptativa, es decir, que suponen una ventaja para el organismo en ese ambiente. Sin embargo, son explicaciones incorrectas que sugieren, por ejemplo que el color blanco es una adaptación para disminuir el efecto de las bajas temperaturas (*categoría científicamente no válida*). La última categoría es la no fundamentada cuyo criterio de selección ya se ha explicado.

Los estudiantes respondieron mayoritariamente (65%) dentro de la primera categoría (respuesta adaptativa correcta). En ese caso se observa un incremento en la frecuencia de estas respuestas en la medida que se avanza en el grado educativo. En el caso de las respuestas adaptativas incorrectas no se observa un patrón definido y obtuvieron la menor proporción de respuestas (9%) y en el caso de las respuestas no fundamentadas se observa una proporción de 25%. Destaca el hecho de que los dos grupos de tercero de secundaria obtuvieron los valores más altos en la categoría de respuesta no fundamentada. (Tabla 4; Figura 3).

Considerando el promedio global de razones adaptativas correctas (65%) como el patrón de comparación para cada grupo, se realizó el análisis comparativo y se encontró que nuevamente grupos de niveles educativos inferiores (1A, 2A, 3A y 3B, todos de secundaria) obtuvieron promedios de respuestas correctas por debajo del promedio global. Sólo dos grupos de secundaria (1B, 2B) ofrecieron un promedio de respuestas correctas por arriba del promedio global y todos los grupos de CCH establecieron respuestas correctas por arriba del promedio global (Tabla 3).

### **Pregunta 3. ¿Qué pasaría si el ambiente cambiara y la nieve desapareciera?**

Ante un escenario de cambio ambiental, los estudiantes ofrecieron mayoritariamente respuestas no fundamentadas (40%). Esto, probablemente debido a que los alumnos interpretaron el evento como una catástrofe en la que el nivel de las aguas subirían. Por otro lado casi una

tercera parte de todos los estudiantes (28%) respondieron que ante el cambio ambiental los organismos se extinguirían. Una proporción similar (31%) ofreció, en contraste, razones adaptativas, divididas en cuatro categorías; los organismos: se adaptan (10%), algunos se adaptan (11%), cambian (4%) o migran (1%). En general las razones adaptativas fueron ofrecidas en mayor proporción por estudiantes de los niveles más avanzados (Tabla 5; Figura 4).

La división entre las cuatro categorías que se generaron a partir de las respuestas de los alumnos, permitió el análisis comparativo en el que se consideró a las razones adaptativas (31%) (*razones científicamente válidas*) como el parámetro promedio global a comparar ya que si bien es cierto que una alternativa evolutiva es la extinción, la pregunta trata de determinar cuáles son las ideas de los estudiantes en cuanto a las capacidades de respuesta de los organismos para enfrentar los problemas que el medio les plantea.

Esta pregunta -junto con tres más que se explican adelante- obtuvo el mayor número de promedios de grupo por abajo del promedio global. Tres grupos de secundaria (1A, 1B y 3A) y tres de CCH (1A, 3A y 5Q) presentaron un promedio de respuestas por debajo del promedio global. Para este caso, en consecuencia, no parece haber un patrón definido que sugiera diferencias entre los niveles educativos (Tabla 3).

**Pregunta 4. *¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes?***

En general los estudiantes reconocieron que la variación entre hijos del mismo padre se produce por razones genéticas (74%). Este razonamiento incrementó su frecuencia en la medida que el nivel educativo era más alto. Asimismo las diferencias entre hermanos se atribuyeron a las aportaciones de diferentes parientes (16%) y en este caso fueron los grupos de menor nivel educativo los que ofrecieron con más frecuencia este argumento. Sólo en el caso de primero de secundaria A se ofreció un argumento evolutivo y el 9% de los estudiantes ofrecieron razones no

fundamentadas, siendo los niveles más básicos los que ofrecieron más frecuentemente respuestas dentro de esta categoría (Tabla 6; Figura 5)

Para la comparación entre grupos se utilizaron las dos fuentes de variación que los estudiantes utilizaron como las *razones científicamente válidas* (diferencias genéticas y diferencias entre parientes) que en el promedio total suman 90%. Cuatro grupos, tres de secundaria (1A, 1B y 3B) y uno de CCH (3A) presentaron un promedio de respuestas menor al promedio global, lo que sugiere nuevamente una tendencia a la presentación de respuestas más consistentes con las ideas científicas por parte de los grupos avanzados (Tabla 3).

**Pregunta 5. Si a una vaca le cortan los cuernos ¿cómo nacerán sus hijos? ¿Por qué?**

Los estudiantes en general reconocen que el hecho de que a una vaca se le corten los cuernos no tiene ningún efecto en esta característica para su cría (*razón científicamente válida*). La mayoría (91%) respondieron que el becerro nacería con cuernos pese a la mutilación. Solamente el 9% respondieron utilizando razones sin fundamento como que el becerro nacería sin cuernos (4%), que dependía (2%) o razones no fundamentadas (3%). En general estas respuestas se distribuyeron en los grupos de secundaria (Tabla 7; Figura 6).

En el análisis comparativo utilizando el referente de la respuesta correcta en el sentido de que el becerro nacería con cuernos (91%) ofrecida por el promedio global de alumnos, se encontró que tres grupos de secundaria (1A, 2B y 3B) y dos grupos de CCH (3B y 5Q) ofrecieron un promedio de respuesta por debajo del promedio global. Nuevamente el resultado implica que no existe un patrón consistente que diferencie los niveles educativos (Tabla 3).

Se analizaron las explicaciones que ofrecieron los estudiantes al hecho de que los becerros nacieran con cuernos. La mayoría (50%) explicó que la mutilación de los cuernos no es un evento que afecte a los genes. La frecuencia con que esta explicación fue ofrecida, aumentó en la

medida que el nivel educativo era mayor. La segunda categoría con mayor proporción de respuestas (25%) estableció que no existe relación entre el corte y el que el becerro nazca con cuernos. En este caso la proporción mayoritaria que ofreció este argumento se encontró entre los alumnos de los primeros niveles (Tabla 8; Figura 7)

Las respuestas se agruparon en tres categorías: razones científicamente válidas, en la que se reunieron las dos categorías ya explicadas, la categoría de razones científicamente no válidas (4%) en la que se reunieron las explicaciones de que los cuernos son necesarios (1%) o de que el corte ocurre cuando los cuernos ya se formaron (3%). La última categoría fue la de respuestas no fundamentadas (13%).

En el análisis comparativo se utilizó como referente las razones científicamente válidas (75%) y se encontró que tres grupos de secundaria (1B, 2A y 2B) y sólo un grupo de CCH (3B), respondieron en promedio por debajo del nivel total. Este resultado sugiere que las explicaciones acerca de las causas que determinan el crecimiento de los cuernos en los becerros son más claras en la medida que el nivel educativo es mayor (Tabla 3).

**Pregunta 6.** *En una población de animales ¿tú crees que todos los individuos cuando llegan a adultos se reproducen?*

El concepto de selección natural no parece ser muy claro para los estudiantes. Si bien la mayoría (53%) respondieron que no todos los animales que llegan a adultos se reproducen, una proporción importante (43%) contestó que sí lo hacían. No parece haber un patrón definido que sugiera diferencias entre niveles. (Tabla 9; Figura 8).

Con fines de análisis, se dividieron las respuestas en tres categorías: las de razones científicamente válidas (53%) en la que únicamente se agrupó a aquellos estudiantes que respondieron en forma negativa a la pregunta; la de razones científicamente no válidas (44%) en

la que se agruparon las categorías de los alumnos que contestaron afirmativamente (43%) o depende (1%) y la de los que ofrecieron una respuesta no fundamentada (3%).

Utilizando las razones científicamente válidas como criterio comparativo, se encontró nuevamente que cuatro grupos de secundaria (1B, 2A, 3A y 3B) y dos de CCH (1A y 5B) presentaron respuesta por debajo del promedio global, resultado que sugiere nuevamente una tendencia hacia la presentación de argumentos científicamente aceptados con más frecuencia en los niveles superiores (Tabla 3).

**Pregunta 7. *¿Qué entiendes por adaptación biológica?***

La mayor diversidad de categorías de respuestas (8) se encontró en esta pregunta. La respuesta más frecuentemente ofrecida (42%) por los estudiantes planteaba que la adaptación biológica es la adaptación al medio por parte de los organismos. Existe un incremento en la frecuencia de esta respuesta a medida que el nivel educativo es mayor. La segunda categoría más frecuente fue la de la respuesta no fundamentada (23%) que se presentó con más frecuencia en los grupos intermedios (Tabla 10; Figura 9).

Las respuestas se dividieron en las tres categorías utilizadas para la mayoría de las preguntas. En primer lugar, la de las razones científicamente válidas (54%), en la que se agrupó a las respuestas: adaptación para sobrevivir (2%), cambios en los organismos (10%), adaptación al medio (42%) y adaptación a un medio diferente (4%). Las razones científicamente no válidas (18%), agruparon las respuestas en las que se sugería que la adaptación biológica ocurría únicamente en animales (11%), las que sugerían que era un proceso humano (5%) y las que señalaban que los organismos tenían la obligación de adaptarse (2%). Finalmente la categoría de respuesta no fundamentada (23%).

Para el análisis comparativo se utilizó la categoría de las razones científicamente válidas

(54%). Nuevamente cuatro grupos de secundaria (1A, 1B, 2B y 3B) y dos de CCH (1A y 5Q) tuvieron valores por debajo del promedio global. En el caso de 3B de CCH su valor promedio fue igual al del promedio global (Tabla 3).

### 7.2.1 Examen argumentativo total

Como ya se explicó, para analizar cada nivel escolar se consideraron las diferencias en el porcentaje por grupo por pregunta, con respecto al promedio global de razones científicamente válidas. Dicha información se encuentra en la Tabla 3. En general hay una tendencia a que el número de preguntas por arriba del promedio global, sea mayor en la medida en que el nivel educativo es más alto. Un grupo de secundaria (1A) presentó solamente una pregunta con promedios por arriba del promedio global. Sólo dos grupos de secundaria (2A y 3A) tuvieron un número mayor de preguntas por arriba del promedio que por abajo de él. Esto indica que el número de respuestas correctas es mayor en los grupos de CCH. Para comprobar esta tendencia se aplicó un análisis de correlación de rangos de Spearman. No se consideraron en la muestra los resultados de 1B de secundaria obtenidos durante la Fase II.

Se encontró una relación entre el grado escolar y el número de categorías con respuestas por arriba del promedio global consideradas como correctas. ( $r_s=0.86$ ;  $p< 0.005$   $n=11$ ). Esto significa que los grados superiores responden acertadamente con mayor frecuencia que los primeros niveles (Tabla 3; Figura 10).

### **7.2.2 Comparación en 1B de secundaria: Fase I vs Fase II (Examen argumentativo)**

La Tabla 3 nos presenta la información general en cuanto a la proporción de respuestas ofrecidas por los estudiantes en la Fase I y la Fase II, comparadas con el promedio global del resto de los grupos. En ella se pueden apreciar algunos cambios interesantes.

En general el desempeño de los estudiantes después de la intervención didáctica fue diferente. Los alumnos contestaron con mayor frecuencia dentro de las categorías consideradas como científicamente válidas y la proporción de respuesta no fundamentadas disminuyó. La Tabla 3 nos muestra que la frecuencia del promedio de respuestas por arriba del promedio global de las respuestas consideradas como científicamente válidas, se incrementó de 2 a 4. Por otro lado, después de la intervención, los estudiantes desecharon categorías (como el caso de respuestas adaptativas incorrectas para la pregunta 2) y construyeron otras (como el caso de la variabilidad en la pregunta 4) (Tabla 11).

Con el fin de analizar si las diferencias entre la Fase I y la Fase II fueron significativas, se utilizó la prueba de McNemar para la significación de cambios. Esta prueba es particularmente apropiada para diseños experimentales de mediciones tomadas "antes" y "después" y permite determinar la significancia de los cambios de un sujeto que es a su vez su propio control.

Para definir un criterio de análisis entre los diferentes niveles, las respuestas de los estudiantes se agruparon en dos categorías más generales: por un lado, las *razones científicamente válidas* (RCV), cuya explicación se ha presentado más arriba y el resto de las respuestas -que definiremos como *otra-* (O) y que incluyen *razones científicamente no válidas y no fundamentadas*. Se analizaron las respuestas de cada alumno para los dos exámenes que realizó y se agruparon en las categorías ya mencionadas. De esta manera se generó una tabla

(Tabla 12) en la que existían cuatro posibilidades para cada alumno en el segundo examen con respecto al primero para cada pregunta:

Categoría de respuesta	Primer examen	Segundo examen
1.	RCV	RCV
2.	RCV	O
3.	O	RCV
4.	O	O

La categoría 1 y la 4 marcan respuestas que no se modifican pese a la intervención. En cambio, la 2 y la 3 representan las modificaciones sufridas, ya sea en el sentido de cambiar una alternativa científicamente válida por otra respuesta (2) o en sentido, inverso, modificar una respuesta hacia una alternativa científicamente válida.

La muestra utilizada se redujo a veinte estudiantes ya que sólo ellos contestaron ambos exámenes y los resultados indicaron que en la categoría 1 la frecuencia total de respuestas fue la más elevada con 94 respuestas (52%), las categorías 3 y 4 compartieron 38 respuestas (21%) y la categoría 2 solamente tuvo diez respuestas (6%) (Tabla 12).

Esto quiere decir que la quinta parte (21%) de los estudiantes cambiaron de una opción técnicamente incorrecta a una correcta y sólo el 6% lo hizo en sentido contrario. Al realizar la prueba de McNemar con corrección de Yates se encontró que esta diferencia era significativa ( $\chi^2 = 15.188$ ;  $p < 0.0001$ ) (Tabla 12).

### **7.3 Resultados examen conceptual por pregunta para todos los niveles (en el caso de primero de secundaria se analizan las respuestas de la Fase I)**

#### ***Pregunta 1. ¿Qué entiendes por evolución?***

Al analizar el porcentaje de respuestas correctas para esta pregunta (Tabla 13) -también se incluyen los porcentajes de respuestas incorrectas (Tabla 14) y parcialmente correctas (Tabla 15)- encontramos que el promedio global de respuestas correctas con respecto a todo el examen, es el más alto (60%). En un análisis particular por grupo, 4 grupos de secundaria (1A, 1B, 2B, y 3B) y uno de CCH (3B) se encuentran por debajo de este promedio. Esto indica que los alumnos de CCH contestaron con mayor frecuencia respuestas correctas. Para probar esta línea de resultados se aplicó un análisis de correlación por rangos de Sperman utilizando a los grupos como variable independiente y al porcentaje de respuestas correctas como dependiente bajo la hipótesis nula de que la pendiente es igual a cero. El resultado indica que la tendencia de aumento en el desempeño de los grupos de CCH no es significativa ( $r_s = 0.58$ ;  $p = .09$ ;  $n = 9$ ).

#### ***Pregunta 2. ¿Qué entiendes por selección natural?***

Utilizando el promedio global (38%) como marco de referencia encontramos que todos los grupos de secundaria se encuentran por abajo de este valor. Nuevamente el resultado sugiere un efecto en el desempeño asociado al incremento de nivel educativo. Para comprobarlo se realizó un análisis de correlación por rangos de Sperman en el que se encontró que efectivamente existe una relación entre el grado y la proporción de respuestas correctas ( $r_s = 0.91$ ;  $p < 0.005$ ;  $n = 9$ ).

#### ***Pregunta 3. ¿Qué entiendes por adaptación?***

Ninguno de los grupos analizados alcanzó un porcentaje de respuestas correctas mayor al 50% (Tabla 13). El promedio global fue de 25% y tres grupos de secundaria (1A, 1B y 2B junto con dos de CCH (1B y 3A) no alcanzaron valores por arriba de este promedio. No existe una

relación entre el nivel educativo y la proporción de respuestas correctas ( $r_s = 0.56$ ;  $p = 0.116$ ;  $n = 9$ ).

**Pregunta 4. *¿Qué entiendes por mutación?***

Todos los grupos de CCH presentaron promedios de respuestas correctas (Tabla 13) por arriba del promedio global (23%), ninguno de los alumnos de un grupo de secundaria (3B) dio una respuesta correcta y sólo un grupo de secundaria (3A) presentó un promedio más alto de respuestas correctas que el promedio global.

Al analizar la relación entre el nivel educativo y la proporción de respuestas correctas se encontró que los alumnos de mayor nivel contestan en mayor proporción respuestas correctas. El resultado de la prueba indica una relación significativa ( $r_s = 0.69$ ;  $p = 0.04$ ;  $n = 9$ ).

**Pregunta 5. *¿Qué entiendes por variabilidad?***

Esta pregunta, junto con la número 1, fue la que obtuvo el menor número de grupos que promediaron por arriba del promedio global de respuestas correctas (20%). Únicamente un grupo de secundaria (1A) y dos de CCH (3B y 5B) presentaron promedios más altos que el promedio global de respuestas correctas (Tabla 13).

La prueba estadística indicó que no existe una relación entre el nivel educativo y el desempeño de cada grupo ( $r_s = 0.5$ ;  $p = 0.15$ ;  $n = 9$ ).

**Pregunta 6. *¿Por qué los seres vivos han evolucionado?***

Esta pregunta ofrece el único caso en el que el desempeño global de los alumnos de secundaria es consistentemente más alto que el de los de CCH. Al analizar el promedio de respuestas correctas (Tabla 13), encontramos que todos los grupos de secundaria se ubican por arriba del promedio global (40%), mientras que los de CCH lo hacen por debajo de este

promedio. Al analizar si este efecto es estadísticamente significativo se encontró que la prueba no ofrece un valor significativo ( $r_s = 0.57$ ;  $p = 0.09$ ;  $n = 9$ )

**Pregunta 7. *¿Cómo han evolucionado los seres vivos?***

Esta pregunta promedió el valor total más bajo con respecto al resto del examen (7%). Esto sugiere que fue la que resultó más difícil para los estudiantes. Los resultados (Tabla 13) indican que no existe ningún patrón que sugiera un mejor desempeño en función del nivel educativo. Este resultado se confirmó por medio de la correlación por rangos en la que se encontró que no había ninguna relación entre ambas variables ( $r_s = 0.15$ ;  $p = 0.68$ ;  $n = 9$ ).

### **7.3.1 Examen conceptual total**

Con el fin de realizar un análisis global del desempeño de cada grupo se procedió a clasificar a las respuestas correctas de cada pregunta en una de acuerdo al criterio que se uso en la tabla 3. De esa manera, al sumar los valores positivos por grupo pudimos realizar una comparación general para todos los niveles educativos. El análisis de los resultados indicó que los grupos de CCH contestaron con mayor frecuencia respuestas correctas ya que presentaron un mayor número de preguntas en las que su porcentaje promedio era mayor al global (Tabla 16).

Con el fin de confirmar este resultado se realizó un análisis de correlación por rangos de Spearman considerando al nivel educativo (grado) como la variable independiente y al número de respuestas correctas de cada grupo por arriba del promedio global de respuestas correctas como la variable de respuesta. Los resultados indicaron que no existe un efecto significativo entre ambas variables ( $r_s = 0.56$ ;  $p = 0.1$ ;  $n = 9$ ) (Figura 11).

El análisis de la Tabla 17, nos muestra que, pese al resultado anterior, el porcentaje de respuestas correctas aumenta en la medida que el nivel educativo es mayor (Figura 12). Se debe hacer notar que ninguno de los grupos logró un porcentaje que le permitiera alcanzar una calificación aprobatoria en un sistema escolarizado.

### **7.3.2 Comparación en 1A y 1B de secundaria: Fase I vs Fase II (examen conceptual)**

Para este análisis se trabajó únicamente con los alumnos que realizaron ambos exámenes por lo que la muestra para primero de secundaria "A" fue de 22 estudiantes y para primero "B" de 18.

Los resultados cualitativos indican, en términos generales que los alumnos después de la intervención didáctica, es decir en la Fase II, contestaron una mayor proporción de respuestas correctas, disminuyeron la de incorrectas y mantuvieron constante la proporción de respuestas parcialmente correctas (Tablas 18,19 y 20; Figs. 15 y 16).

Antes de la intervención en el grupo de primero de secundaria "A", la pregunta en la que los estudiantes tuvieron una menor proporción de respuestas correctas (9%) fue la número 7: ¿Cómo es que los organismos han evolucionado? y en la que mejor desempeño mostraron (59%) fue la número 1: ¿Qué entiendes por evolución? En ninguna de las siete preguntas los estudiantes alcanzaron una calificación promedio que resultaría aprobatoria en un sistema escolarizado. En el caso de primero de secundaria "B", los resultados son inferiores e indican un 0% de promedio de respuestas correctas para la pregunta 1 y un 39% (el valor más alto) para la pregunta 6: ¿Por qué evolucionan los seres vivos? (Tablas 18 ,19 y 20).

Después de la intervención, los estudiantes de primero de secundaria "A", incrementaron su promedio general de respuestas correctas para las preguntas 1, 2, 5 y 7, mantuvieron la misma proporción en la pregunta 6 y disminuyeron su promedio de respuestas correctas en las preguntas 3 y 4. En el caso de primero "B" de secundaria, los estudiantes incrementaron su proporción de respuestas correctas en todas las preguntas con excepción de la número 6 en la que promediaron la misma proporción de respuestas correctas antes y después de la intervención.(Tablas 18 ,19 y 20).

Con el fin de realizar un análisis global de estos resultados, se analizó el número de respuestas pertenecientes a las tres categorías (correcta, incorrecta, parcialmente correcta) de cada alumno y se le asignó un puntaje a cada respuesta. De esta manera se consideró a una respuesta correcta con el valor de 1 punto, no se le asignaron puntos a una respuesta incorrecta y cada respuesta parcialmente correcta recibió medio punto, así se obtuvieron "calificaciones" de cada estudiante, antes y después de la prueba (Tablas 21 y 22). El promedio de estas evaluaciones fue de 2.90 antes de la intervención y 3.75 después de la intervención en el caso de primero "A" y 1.8 antes de la intervención y 3.1 después de la intervención en el caso de primero "B".

Con estos resultados se aplicó una prueba de Wilcoxon para muestras pareadas en el que se comparan las medianas de cada muestra de datos y establece si hay diferencias significativas.

Se encontraron diferencias en ambos grupos en el caso de primero "A" la probabilidad asociada a la prueba de Wilcoxon fue de  $P=0.03$  y en el caso de primero "B" fue de 0.0003, lo que indica que el desempeño de los estudiantes fue significativamente mejor después de la intervención didáctica.

Un dato interesante se encontró al analizar el desempeño de los estudiantes considerando su sexo. En los dos grupos el mayor promedio de calificación lo obtuvieron las mujeres, tanto antes como después de la intervención. En el caso de los estudiantes de primero "A", los hombres promediaron 2.2 y 3.3 antes y después de la intervención, mientras que las mujeres obtuvieron 3.6 y 4.2 respectivamente. Para primero "B", los varones obtuvieron 1.3 y 2.7 como calificaciones promedio antes y después de la intervención y las mujeres 2.3 y 3.4 respectivamente.

Con el fin de comprobar si estas diferencias eran significativas, se aplicó la prueba U de Mann-Withney para muestras no pareadas al promedio de calificaciones por sexo después de la

intervención sin que se encontraran diferencias significativas para primero "A" ( $U= 37$ ;  $p= 0.14$ ) y tampoco para primero "B" ( $U= 29$ ;  $p= 0.18$ ).

#### **7.4 Análisis de resultados**

Recordemos ahora que uno de los supuestos asume que la presentación introductoria de la teoría evolutiva es indispensable para la comprensión general de la disciplina. En dicha sección se considera que si este objetivo se cumple a través del diseño curricular los alumnos:

- Serían capaces de integrar con mayor significatividad los conceptos de biología.
- Incrementarían su comprensión sobre los procesos evolutivos.

Para someter a prueba dichos supuestos es que se diseñó el trabajo de campo, a continuación se discuten los elementos más relevantes que se encontraron durante el análisis:

Aparentemente existe una paradoja educativa en la enseñanza del biología en la escuela secundaria; por un lado, el concepto de evolución se considera central para comprender los procesos biológicos (Dobzhansky, 1973), por otro lado diversos estudios han de mostrado que los estudiantes tienen dificultades para comprender los procesos evolutivos (Deadman y Kelly, 1978; Engel y Wood, 1985b). En efecto, parece ser que las ideas alternativas persisten a pesar de que los estudiantes reciben información formal sobre el tema (Bishop y Anderson, 1990).

Lawson y Thompson (1988) argumentan que los estudiantes que no han alcanzado el nivel formal implementarán explicaciones lamarckianas cuando traten de analizar eventos evolutivos. Sugieren que sólo en el nivel de operaciones concretas se puede comprender adecuadamente la evolución por selección natural. Estas ideas son similares a las que plantea por ejemplo Shayer (1974), quien argumenta que el concepto de evolución por selección natural es muy complejo y que rebasa las capacidades cognitivas de los estudiantes, incluso en el nivel preparatoria.

Sin embargo, considero que el problema es más complejo ya que dichos estudios prácticamente han ignorado la forma en que estos conceptos han sido transmitidos a los alumnos. Una estrategia didáctica determina, de manera casi invariable, la eficacia con la que un estudiante

comprenderá un concepto científico. Cualquier concepto biológico que no se transmita apropiadamente (y esto quiere decir, que no considere las propias ideas del que aprende y no utilice diversos recursos de explicación) puede estar destinado al fracaso. Recordemos que Novak (1978) sugiere que puede haber algún grado de aprendizaje razonable prácticamente para cualquier concepto si se seleccionan los medios de enseñanza adecuados.

Dentro del trabajo de campo los resultados sugieren tres líneas:

a) Los estudiantes de niveles superiores de bachillerato ofrecieron respuestas a los cuestionarios que se aproximan más a razones científicamente aceptadas que explican la evolución.

b) Los estudiantes de primero de secundaria -que no habían tenido contacto formal con el tema- mejoraron significativamente su desempeño después de la intervención didáctica; construyeron nuevas categorías conceptuales correctas y desecharon las incorrectas.

c) A pesar del resultado anterior, en general el desempeño de todos los grupos confirma un bajo nivel, siguiendo el principio evaluatorio formal, en cuanto a temas evolutivos.

Las respuestas ofrecidas por los estudiantes en el examen argumentativo, si bien pueden agruparse en categorías más amplias (por ejemplo "desaparecerían especies" o "morirían" dentro de una categoría de extinción), se decidieron presentar tratando de reflejar todas las alternativas que emplearon los estudiantes.

En general los estudiantes comprenden que los animales y las plantas han cambiado a lo largo del tiempo. Este resultado no es sorprendente si consideramos la frecuencia con la que los estudiantes reciben información sobre los cambios entre los seres vivos, particularmente en animales y en el hombre. Varios alumnos, por ejemplo, utilizaron el argumento de la desaparición de los dinosaurios o el del cambio en los seres humanos como evidencias de cambio. Resulta interesante el ejemplo de los dinosaurios ya que sugiere que la evidencia de que

estos organismos han desaparecido es suficiente para que ellos entiendan que las especies sufren modificaciones. Este resultado confirma lo encontrado por Deadman y Kelly (1978) en un estudio similar. Sin embargo, al preguntarle a los alumnos por la razón de ese cambio generaron ocho categorías de respuesta dentro de las cuales tres eran incorrectas y representaban el 15% del promedio total de la muestra. Algunos alumnos de los primeros grados utilizaron el término "perfección" para describir la razón por la cual los organismos evolucionaban, otros mencionaron que los organismos necesitaban "ser mejores" o que "tenían un coeficiente intelectual mayor". Otros estudios (Settlage, 1994; Bishop y Anderson, 1990) reportan la categoría de perfección como una de las más frecuentes en el pensamiento de los estudiantes. Sin embargo, en nuestros resultados representó únicamente el 3% del total de la muestra aunque en grupos como 2ºA de secundaria alcanzó el 12%. La segunda categoría incorrecta plantea a la evolución como un proceso diseñado para producir seres humanos como resultado final. Tampoco esta categoría tuvo una presencia significativa (2%). Ambas categorías, junto con la de respuestas no fundamentadas se presentaron con mayor frecuencia en estudiantes de secundaria. Sin embargo, no obtuvieron proporciones muy altas (Tabla 2). Esto sugiere que dichas categorías no forman una parte importante de las estructuras conceptuales de los estudiantes.

El 84% de los alumnos en promedio utilizaron razones científicamente válidas. Este resultado se sesga hacia ese valor debido a las respuestas de los alumnos de CCH ya que todos los grupos de secundaria obtuvieron promedios por debajo del promedio total. Sin embargo, un dato interesante es que si asignáramos una calificación por grupo ninguno de ellos hubiera reprobado. Debemos, en consecuencia suponer que los alumnos manejan el concepto de cambio en el tiempo y tienen una idea correcta de por qué ocurre. El carácter general de la pregunta obliga, sin embargo, a mantener ciertas reservas ya que, como se verá más abajo, al sondear sobre mecanismos más específicos este desempeño positivo disminuye.

La pregunta 2 intentaba explorar las ideas de los estudiantes sobre caracteres adaptativos. En general se asume que un carácter determinado (color, tamaño, etcétera) es adaptativo cuando le brinda una ventaja al organismo que lo posee. Esta relación parece ser clara en los estudiantes ya que todos los grupos contestaron mayoritariamente utilizando razones adaptativas correctas (Tabla 3). También se utilizaron razones adaptativas incorrectas, entendidas como aquellas que asumían una ventaja en el color blanco de los animales pero que eran erróneas en describir tal ventaja. Las explicaciones que construyeron los alumnos se basaban en el hecho de que el frío (como un factor ambiental) disminuía la pigmentación. Observación que probablemente se relacione con su propia percepción de las razas humanas y los lugares que habitan.

Los resultados indicaron que la proporción de respuestas no fundamentadas fue consistentemente mayor en los grupos de secundaria, lo que refuerza la tendencia de los resultados en el sentido de marcar un mejor desempeño en los alumnos de CCH. Llamamos la atención los resultados del grupo 3ºB de secundaria que obtuvo el menor porcentaje promedio de respuestas adaptativas correctas y que mostró consistentemente resultados muy pobres. Desde luego las variables que influyen en el desempeño global de un grupo son muy diversas y difíciles de controlar ¿cómo explicar los pobres resultados de un grupo cuando existe un grupo equivalente que lo hace mejor? Este efecto puede ser resultado de una deficiente estrategia didáctica, de la falta de preparación del maestro, del perfil de cada uno de los integrantes del grupo, de la frecuencia en el uso de materiales didácticos y de muchos factores más. Como en el caso de 3ºB de secundaria no se efectuaron los controles de estrategia didáctica y del mismo maestro impartiendo clase a grupos diferentes, es muy difícil interpretar este resultado, pero ilustra, desde luego, la variabilidad que se puede encontrar dentro del ambiente escolar.

Los estudiantes interpretaron un cambio en el ambiente en términos catastróficos. La mayoría consideró que un cambio ambiental traería como consecuencia la extinción de

organismos. Muy pocos y en general alumnos de CCH en su mayoría, ofrecen alternativas de adaptación. La proporción total para una respuesta en este sentido es de 31%. Esto sugiere que la idea de una respuesta ante variaciones ambientales no está arraigada en el pensamiento de los estudiantes. Esto se debe probablemente al poco manejo formal de dos conceptos que se complementan: la producción azarosa de variabilidad y la selección natural como un mecanismo determinístico que mantiene a los organismos más aptos. De hecho en ningún momento los estudiantes emplearon el concepto azar en alguna de las respuestas de los dos exámenes, lo que marca una deficiencia esencial. Esto coincide con lo reportado por Deadman y Kelly (1978). Sólo en la medida que los estudiantes sean capaces de manejar ambos conceptos y la relación que guardan es que comprenderán adecuadamente el proceso evolutivo.

Como ya se mencionó la variabilidad es un concepto fundamental. Un resultado muy interesante se encontró al analizar las respuestas a pregunta 4 ya que aparentemente los estudiantes tienen claro que los hijos de un padre pueden ser diferentes por razones genéticas. Los estudiantes de niveles superiores utilizaron con mayor frecuencia conceptos que explican estas diferencias basados en términos como *genes*,  *cromosomas* o *ADN*. Los estudiantes de secundaria, en cambio, utilizaron un argumento similar pero usando elementos más intuitivos en términos de las aportaciones de diferentes parientes, es decir los hijos son diferentes porque se pueden parecer a diferentes miembros de la familia. El patrón de mejor desempeño en CCH se repitió en esta pregunta.

A pesar de este reconocimiento explícito a las fuentes que determinan la variabilidad, los alumnos no manejan adecuadamente el concepto. Esto se determinó a través de la pregunta 5 del examen conceptual en la que solo el 20% de los alumnos ofreció una respuesta correcta. Esto nos plantea un problema interesante ya que sugiere que las bases para desarrollar un concepto pueden ser claras sin que ello signifique que el concepto será comprendido si no se explica

adecuadamente.

Existen varios estudios (Deadman y Kelly, 1978; Bishop y Anderson, 1990; Settlage, 1994) que han demostrado que existe en los alumnos una visión lamarckiana de los procesos evolutivos. Sin embargo, consistentemente todos los alumnos respondieron que los becerros de una vaca con los cuernos cortados nacerían con cuernos lo que elimina la idea de los caracteres adquiridos. Se podría pensar que esta respuesta es producto de las observaciones de los estudiantes más que de su estructura conceptual, pero en el momento de pedirles una explicación de este fenómeno, la mayoría contestó acertadamente que la mutilación no afecta la estructura genética o que los dos eventos (el corte y el nacimiento con o sin cuernos) no tienen ninguna relación. Nuevamente esta última respuesta con un componente más intuitivo fue utilizada por estudiantes de los niveles más básicos, mientras que los estudiantes de grados más avanzados, utilizaron términos genéticos más especializados. Si bien la proporción de respuestas científicamente válidas sugiere que los alumnos tienen claro que el concepto de la herencia de caracteres adquiridos es incorrecto, llama la atención la cantidad de respuestas no fundamentadas.

El concepto de selección natural, que implica que escasez de recursos, la presencia de depredadores y la competencia son factores que determinan que no todos los animales se reproduzcan. Los resultados del examen implican que las opiniones de los estudiantes en cuanto a la reproducción de todos los animales se dividen; un poco más de la mitad del promedio total de estudiantes creen que no todos los individuos se reproducen al llegar a adultos. Sin embargo, un porcentaje considerable (43%) creen que sí lo hacen. Un resultado destacable lo ofrecieron los alumnos de 5ºB CCH que en el resto de las pruebas se desempeñaron como el grupo con mayor proporción de respuestas correctas. Para esta pregunta no existe un patrón que indique diferencias entre los niveles educativos. Las respuestas de los estudiantes que sí creen en la

reproducción de los organismos se basa en el hecho de considerar a esta actividad como una parte natural e inevitable de su ciclo de vida. Muchos de ellos contestaron que los animales se tienen que reproducir ya que "está en su instinto". Esto sugiere que los estudiantes no distinguen la variación individual y piensan en la población como una gran unidad que cumple el ciclo tan frecuentemente reiterado en los programas educativos de "nacer, crecer, reproducirse y morir".

En el caso de la pregunta siete sobre adaptación, se presentó una gran riqueza de categorías. Además de las respuestas no fundamentadas, tres categorías no fueron científicamente válidas. Una de ellas plantea que la adaptación es un proceso que se presenta sólo en los animales. La categoría antropocéntrica en la que se habla únicamente de adaptación humana y finalmente la de adaptación imperativa en la que se plantea a la adaptación como un proceso que los organismos no pueden evitar. La respuesta más frecuente fue que los organismos se adaptan al medio y nuevamente los alumnos de CCH obtuvieron la más alta proporción.

La adaptación biológica es un concepto difícil de comprender dada la acepción que manejamos en el lenguaje cotidiano y que es sinónimo del término "acostumbrarse a una condición". Algunos alumnos utilizaron este concepto de costumbre como una definición de adaptación. Sin embargo, este patrón no pudo comprobarse cabalmente ya que no existen elementos para poder determinar en qué sentido es que los alumnos utilizaron el término. Para tratar de entender este problema se analizaron las respuestas a la pregunta 5 del examen conceptual que sondea precisamente el concepto de adaptación. Se encontró que sólo la cuarta parte (25%) del total de los alumnos ofreció una respuesta correcta lo que implica un pobre desarrollo de los estudiantes sobre dicho concepto.

Existen diversas maneras de interpretar el mejor desempeño mostrado por alumnos de niveles superiores. Si utilizamos los principios piagetianos encontraremos que Shayer (1974) y Lawson y Thompson (1988) sugieren que los alumnos de secundaria no han alcanzado el nivel

de operaciones concretas que les permita comprender conceptos de herencia y de evolución por selección natural. Otra explicación (no necesariamente excluyente) se puede encontrar en el simple hecho de que los alumnos de cursos superiores han tenido un contacto formal con los temas evaluados. Sin embargo, existe evidencia que sugiere que adultos con antecedentes de estudios científicos no difieren significativamente de aquellos que sí los tienen (Bishop y Anderson, 1990).

Los exámenes realizados antes y después de la intervención didáctica, demostraron que en el caso del examen argumentativo los alumnos de 1° B de secundaria incrementaron en prácticamente todas las preguntas su porcentaje de respuestas con razones científicamente válidas. Además de generar nuevas categorías (no utilizadas en el primer examen) como "variabilidad" para explicar las diferencias de los hijos con sus padres o "caracteres adquiridos" para explicar que los becerros nacieran con cuernos. Las diferencias individuales para los dos exámenes fueron estadísticamente significativas y sugieren que el uso de estrategias didácticas puede incrementar la comprensión de los temas evolutivos. Este es un resultado muy destacable.

En el caso de los resultados del examen conceptual, éstos se analizaron utilizando tres categorías de respuesta: correcta, incorrecta o parcialmente correcta. Cada una de las cinco preguntas tiene un nivel de generalidad diferente. La primera pregunta ¿qué entiendes por evolución? es la más inclusora, los mecanismos evolutivos como la selección natural y la adaptación se encuentran en un nivel conceptual similar y la mutación y la variabilidad son mecanismos evolutivos más específicos.

En general, los aspectos más globales de la teoría evolutiva son aquellos en los que los estudiantes obtuvieron una mayor proporción de respuestas correctas. De esta manera, el 60% del promedio total de los alumnos definió adecuadamente evolución y sólo el 20% lo hizo correctamente con el concepto de variabilidad.

Aparentemente los estudiantes tienen más claro por qué ocurre la evolución, que cómo ocurre ya que solamente el 7% de las respuestas correctas totales se obtuvieron en esta categoría. Este resultado se puede explicar por la diferencia de argumentos que se necesitan para explicar las causas del ¿por qué? y las causas del ¿cómo? Para los alumnos resulta intuitivamente claro que los organismos tradicionalmente se han enfrentado a presiones diferentes lo que ha determinado que se modifiquen. En contraste las explicaciones del ¿cómo? implican necesariamente el manejo de conceptos como selección natural, azar y variación, que aparentemente no son familiares para los estudiantes.

Para la definición de evolución no se encontraron diferencias significativas por nivel, esto quiere decir que la manera como este concepto es comprendido por estudiantes de secundaria y CCH es equivalente.

En el caso de selección natural el promedio total de respuestas correctas fue de 38%. Sin embargo, este resultado se sesga por el bajo desempeño de los estudiantes de secundaria que es significativamente menor al de los estudiantes de CCH. Parece ser que el concepto de selección natural tiene un problema en la manera en que es interpretado semánticamente ya que muchos estudiantes lo manejan en un sentido dirigido, es decir, como la selección realizada por alguien. Esta selección dirigida se llama en realidad selección artificial y es explicada a los estudiantes en los cursos de genética lo que puede sugerir una explicación para el desempeño diferencial de los niveles. Otra acepción que explica el pobre desempeño de los estudiantes fue aquella que interpretó a la selección como un conjunto de cosas naturales. Así por ejemplo un alumno de primero de secundaria respondió que la selección natural era "el conjunto de cada planta que no se revuelve con los demás". Sin embargo, las respuestas de los alumnos de CCH fueron significativamente diferentes a las de los estudiantes de secundaria.

Solo la cuarta parte de los alumnos definió correctamente el término adaptación. Se

advierte en los estudiantes de todos los niveles una tendencia a utilizar este término no como una capacidad de respuesta del organismo, sino como la posibilidad de "acostumbrarse" a vivir en ciertas condiciones. Los estudiantes emplearon frecuentemente ejemplos humanos de adaptación (en la acepción de "costumbre") o plantearon que "la naturaleza se adapta al medio ambiente". En esta categoría no hubo diferencias para los distintos niveles educativos.

Mutación fue un concepto en el que los estudiantes tuvieron grandes confusiones, generalmente lo entendieron como un cambio físico que determina deformidades. Se utilizaron ejemplos de niños con seis brazos o de cambios de piel. Esto se debe probablemente al abuso del término en programas o historias de ficción. Para los estudiantes no es claro que las mutaciones pueden ser favorables y que de hecho cuando lo son, determinan ventajas en los individuos. El desempeño total fue muy pobre (solamente 23% de respuestas correctas) y solamente un grupo de CCH tuvo un promedio alto de respuestas correctas (60%).

La variabilidad es interpretada por los alumnos como "cosas diferentes". Prácticamente ninguno de los estudiantes analizados tuvo claro el concepto. Solamente una quinta parte del promedio total tuvo una respuesta correcta en esta pregunta. Aparentemente nos enfrentamos nuevamente al problema de una interpretación semántica literal que tiene más sentido para los estudiantes que la acepción científicamente válida. Esta debería ser una llamada de atención para los maestros ya que si no se considera la interpretación que haga un estudiante de un término, será muy difícil que pueda comprenderlo. Hernández (1994) demostró que estudiantes de secundaria confundían, por ejemplo, el término "extinción" con la acción de apagar un fuego y "adaptación" con adopción.

Ante la pregunta de ¿por qué crees que evolucionaron los seres vivos? se encontró un resultado muy interesante ya que los estudiantes de secundaria tuvieron un mejor desempeño que los de CCH, tendencia que va en contra de la encontrada en el resto de las preguntas de los dos

exámenes. Probablemente el caracter general de la pregunta y la necesidad de utilizar argumentos muy elementales expliquen esta diferencia. Los estudiantes de CCH manifestaron una tendencia a confundir el "qué" con el "cómo" y de esta manera ofrecieron respuestas relacionadas con mecanismos y no con las razones del cambio.

Por las razones que se han explicado arriba la pregunta de "cómo evolucionan los seres vivos?" resultó la más difícil para los estudiantes ya que en ella se hacen necesarios una serie de argumentos conceptuales que los alumnos demostraron no poseer.

Nuevamente la intervención didáctica logró aumentar el porcentaje de respuestas correctas para los grupos de secundaria. En ambos casos hubo diferencias significativas entre sus promedios antes y después de la intervención. Esto sugiere que existen estrategias más eficaces que las utilizadas tradicionalmente en la escuela secundaria para impartir los temas evolutivos.

Algunas conclusiones generales se enlistan a continuación:

1. En general fue mejor el desempeño de los grupos de CCH comparados con los grupos de secundaria, aunque existen categorías en las que no hubo diferencia.
2. La intervención didáctica que implica el uso de mapas conceptuales, esquemas, reconocimiento de lo que el alumno sabe y cuestionarios, incrementó significativamente el desempeño de los estudiantes de primero de secundaria.
3. Los eventos evolutivos se reconocen en los animales y en el hombre pero no en plantas.
4. Los estudiantes reconocen el cambio de los seres vivos a lo largo del tiempo.
5. La variación ambiental se identifica como un evento catastrófico.
6. Los estudiantes confunden términos como adaptación, selección natural, mutación y variabilidad con sus acepciones semánticas usadas en ámbitos no científicos.
7. Los estudiantes de CCH utilizan términos especializados con mayor frecuencia que los estudiantes de secundaria.

**8. El desempeño global de todos los grupos en general no alcanzaría una calificación aprobatoria en un sistema escolarizado.**

**9. Los estudiantes confunden por qué y cómo ocurre la evolución, en este último caso sus respuestas son completamente incorrectas.**

#### **IV CONSIDERACIONES FINALES**

A lo largo de este trabajo se han abordado diversos aspectos relacionados con la enseñanza de la biología en la escuela secundaria; los componentes epistemológicos, los aspectos empíricos asociados al manejo de contenidos biológicos en el aula y la caracterización de los principales problemas que ha enfrentado la enseñanza de la biología en este nivel. A partir de estos antecedentes se ha ofrecido una propuesta de currículum alternativa cuya fundamentación y líneas de desarrollo se han tratado de documentar.

Recordemos los objetivos originales que se plantearon para este trabajo: por una parte, se pretendió establecer una propuesta curricular para la enseñanza de la biología en la escuela secundaria -entendiendo como Coll (1987) que este diseño debería responder a las preguntas de *¿para qué; qué; cómo; cuándo enseñar?* y a criterios de evaluación- en la que se asumen las ideas de Novak (1978) acerca de la selección de contenidos conceptuales de la biología y a estrategias de enseñanza pertinentes.

Este primer gran objetivo ha sido cubierto a través de la presentación de la propuesta que este trabajo detalla y que -como ya se explicó- fue adoptada por la SEP en 1993. Vale la pena decir que para conocer su efecto se requieren de estudios y análisis que hoy apenas inician y que escapan a los alcances de este documento. Sin embargo, se pueden hacer algunas consideraciones de carácter general.

La enseñanza de la ciencia se encuentra en proceso de reforma; la sección 2.3 da cuenta de ello y si bien se puede asumir que hay matices regionales y nacionales podemos destacar que existen denominadores comunes significantes de un cambio diametral que debe ser transmitido cabalmente a las instancias magisteriales si es que se pretende de verdad un impacto educativo. En menos de treinta años se ha pasado de

programas en los que las cargas eran desmesuradas y recreaban a escala todo el conocimiento disciplinar, a programas que manejan un sentido de "pertinencia" en el que los contenidos tienen un alto valor social. Asimismo, la idea de que la ciencia es un instrumento terminado que ofrece todas las respuestas para entender el mundo que nos rodea se encuentra en crisis. Se reconoce actualmente que la ciencia y su conocimiento son procesos en construcción y ello tiene, desde luego, un efecto en la manera como se enseña el conocimiento científico. Por otro lado, el modelo acerca de la necesidad de enseñar ciencia también se ha modificado; a partir de una perspectiva en la que lo que se proponía era crear futuros científicos ahora se reconoce que -independientemente de la trayectoria escolar que siga un estudiante- se debe tratar de generar una cultura científica básica.

Evidentemente todos estos cambios no pueden ser simplemente decretados ya que es probable que las propias inercias del sistema educativo entren en confrontación con este modelo alternativo. No sería extraño que los maestros de biología cuestionaran el programa o el enfoque ya que éste en muchos casos no es compatible con su propia experiencia (que para ellos tiene mayor validez). Por ello es que resulta fundamental que las autoridades educativas generen estrategias en las que estos enfoques se planteen de manera legible para todos aquellos encargados de ponerlos en práctica y se tengan respuestas también legibles para sus preocupaciones ya que de ello depende el éxito o el fracaso de una transformación educativa.

La propuesta, asimismo, tampoco puede considerarse conclusiva bajo ningún punto de vista, entenderlo así sería cometer un error descomunal. Evidentemente debe entenderse como una plataforma sobre la que puede haber muy diversas lecturas que la pueden enriquecer. Muchos maestros, por ejemplo, han expresado que es un error que

genética, la última Unidad de primer año, se encuentre antes de célula, la primera Unidad de segundo. La discusión no puede cerrarse apelando a cuál de las dos opciones es más correcta; enfocarlo así sería cancelar los caminos. Para realmente construir una salida es necesario que los maestros cuenten con la libertad de tomar el programa en sus manos e introducir temas que consideren antecedentes necesarios sin que ello tenga consecuencias normativas.

En nuestro país ha existido siempre una tensión respecto a quiénes deberían definir los contenidos educativos ¿los maestros? ¿los investigadores educativos? ¿los científicos? El desgaste asociado a esta discusión ha sido muy alto y no se ha podido reconocer que esta polémica se cimienta en bases por completo equivocadas; debería ser evidente que el origen profesional no significa nada si no se enmarca en un mejor y mayor contexto. Cada gremio se compone de personas con capacidades diferenciadas; hay buenos y malos maestros, lo mismo que científicos respetables y otros que no tienen bases para sustentar su trabajo. Es por ello que en las próximas discusiones curriculares será muy importante pensar en una estructura que rescate las experiencias gremiales de gente calificada, sin importar su origen y que exista la posibilidad de que las propuestas puedan ser sometidas a prueba antes de entrar en vigor.

Si bien es evidente que existen costos asociados a la transformación de programas educativos traducidos en actualización docente, en impresión de materiales o en continuidad respecto a los contenidos que un estudiante revisa, debería resultar claro que son costos que hay que pagar si lo que se pretende es trascender una estructura educativa en la que las Reformas son eventos paradigmáticos que ocurren cada veinte años.

El segundo objetivo de este trabajo se relacionaba con este diseño y consistió

precisamente en analizar uno de los supuestos que se desprende de la propuesta curricular. Para ello se propuso realizar un trabajo de campo en el que se sondearon las ideas previas que tienen los estudiantes de secundaria sobre conceptos fundamentales de la teoría evolutiva y se aplicó una estrategia de enseñanza para modificar esas ideas. Este último objetivo presentó una segunda vertiente, que consistió en determinar si estudiantes en diversas etapas (secundaria y CCH) de sus estudios, varían en cuanto a los conceptos que manejan sobre temas evolutivos.

Se encontraron resultados que sugieren que el desempeño de los estudiantes después de una intervención didáctica es mejor en cuanto al tema de evolución y este es un resultado destacable. Sin embargo, no debería considerarse como la validación en campo de la propuesta curricular. Los alcances de este estudio son limitados y no pretenden establecer generalizaciones que, por otro lado, serían riesgosas. Tampoco sabemos si otras estrategias pueden ser más poderosas que la que se puso a prueba. Ello es tarea de futuros trabajos.

Settlage (1994) demostró, analizando a estudiantes de preparatoria, que sus concepciones erróneas sobre evolución se podían modificar por medio de la instrucción. Deadman y Kelly (1978) realizaron un estudio similar para estudiantes de secundaria y encontraron explicaciones evolutivas predominantemente incorrectas, a partir de su trabajo ofrecieron una serie de sugerencias a los maestros con el fin de modificar dichas ideas; entre estas sugerencias se destaca la importancia de determinar los conocimientos previos de los estudiantes. Este trabajo representa el primer estudio longitudinal que se realiza en nuestro país sobre la enseñanza de la evolución. Los resultados sostienen evidencia de investigaciones previas. Aparentemente los estudiantes pueden modificar sus ideas sobre evolución y construir nuevos conceptos, a pesar de lo que advierten

algunos autores acerca de las limitaciones conceptuales de los estudiantes de secundaria para manejar estos temas.

Cada uno de los análisis de este trabajo deberá, sin embargo, matizarse de acuerdo a las problemas implícitos en extraer una conclusión general de un estudio particular. Por ejemplo, el hecho de que los estudiantes tengan o no claro que los organismos tienen una reproducción diferencial, no implica que posean necesariamente el concepto de selección natural. Por otro lado, sería arriesgado extraer conclusiones respecto a las capacidades de comprensión que tienen los estudiantes sobre los mecanismos genéticos, sólo porque señalan diferencias que podrían señalar dada su experiencia cotidiana.

Es necesario ampliar las líneas de investigación en este campo ya que los esfuerzos tradicionalmente se han enfocado al nivel de primaria y mayoritariamente sobre conceptos físicos o químicos. Si asumimos que el factor determinante para construir nuevo aprendizaje se basa en las ideas ya existentes en la estructura conceptual del que aprende, se hará necesario sistematizar y diversificar los estudios sobre la manera en que los estudiantes construyen sus conocimientos. Este será el único camino para diseñar propuestas educativas serias y fundamentadas.

Los programas de biología para secundaria fueron reformados en 1993. Esta fue la séptima reforma realizada desde 1926 y la primera después de diecinueve años. Evidentemente una modificación de este tipo debería partir invariablemente de principios fundamentados y bajo un modelo educativo claro. Aparentemente los ejercicios de reforma curricular han obedecido a criterios intuitivos y coyunturales generando, por esta falta de claridad severas deficiencias en la transmisión del conocimiento científico. Es necesario que las autoridades educativas integren en sus

planteamientos que los programas no son prescripciones que pueden modificarse por decreto y sin un objetivo determinado y es fundamental que los investigadores educativos se den a la tarea de monitorear los cambios que los nuevos enfoques determinan en los espacios escolares. Por supuesto no podemos esperar otros veinte años para implementar cambios. Los aportes de los investigadores educativos son constantes, lo mismo que la evolución del conocimiento y constante debería ser en consecuencia la revisión de los currículos con el fin de actualizarlos, de otra manera la enseñanza de la ciencia en México seguirá obedeciendo a principios que tienen poco o ningún efecto en las ideas de los estudiantes.

## V FUENTES

### REFERENCIAS

- Adams, J y Greenwood, P. (1987). Sex and size: investigating the roles of natural and sexual selection. *Journal of Biological Education*. 21 (2), 117-123.
- Allen, J., Anderson, K. Y Tucker, G. (1987). More than meets the eye: a simulation of natural selection. *Journal of Biological Education*. 21 (4), 301-305.
- Angseesing, J. (1978). Problem-solving exercises and evolution teaching. *Journal of Biological Education*. 12 (1), 16-20.
- Ausubel, D. (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Ed. Trillas, México.
- Ausubel, D. (1984). Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento, en Elam, S. *La estructura del conocimiento*. Ed. Ateneo Buenos Aires.
- Ayala, F. (1968). Biology as an autonomous science. *American Scientist* 56, 207-221.
- Ayala, F. (1986). Reduction in biology: a recent challenge. *Evolution at a crossroads: The new biology and the new philosophy of science*. David Depew and Bruce Weber (eds). MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- Bartley, W. (1982). Philosophy of Biology versus Philosophy of Physics. *Fundamenta Scientiae*. 3, 55-78.
- Barras, R. (1979). Vocabulary for introductory courses in biology: necessary, unnecessary and misleading terms. *Journal of Biological Education*. 13 (3): 179-191.
- Batalla, M. y Méndez, H. (1992). *Biología I*. Ed. Kapelusz mexicana.
- Bernal, J. (1981). *La ciencia en la historia*. Ed. Nueva Imagen, México.
- Bishop, B. y Anderson, A. (1990). Student conception of natural selection and its role in evolution. *Journal of research in science teaching*. 27 (5): 415-427.
- Bonfil, M. y Tappan, M. (1993). Los términos científicos: su nacimiento y comportamiento en sociedad. *Ciencia*, 44, 253-267.
- Bonfil, M. (1994). Biología y homosexualidad: cromosomas y definición sexual.. *Información Científica y Tecnológica*, 16 (213) 20-24.

- Brown, S. y McIntyre, D. (1986). Influences upon teachers' attitudes to different types of innovation: a study of Scottish integrated science. *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Bloom, J. (1989). Preservice elementary teachers conceptions of science, theories and evolution. *Int. J. Sci. Educ.* 11 (4): 401-415.
- Brumby, M. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*. 13 (2): 119-122.
- Burian, R. (1986). On conceptual change in biology: the case of gene. *Evolution at a crossroads: The new biology and the new philosophy of science*. David Depew and Bruce Weber (eds). MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- Candela, A. (1990). Cómo se aprende y se puede enseñar ciencias naturales. *Cero en Conducta*. 20: 13-17.
- Candela, A. (1991). Investigación y desarrollo en la enseñanza de las Ciencias Naturales. *Revista Mexicana de Física*. 37 (3), 512-530.
- Campos, M. (1988). La problemática del proceso de aprendizaje cognitivo en el aula. en Rueda, M. y Escobar, M. (Comps.) *La investigación educativa en el salón de clases universitario*. CISE, UNAM.
- Campos, M. y Gaspar, S. (1989). Los conceptos de educación y aprendizaje en la teoría piagetiana y algunas implicaciones. *Perfiles educativos*, 43-44. CISE, México, 3-10.
- Carpizo, J. (1986). Debilidad y fortaleza de la Universidad Nacional Autónoma de México. *Gaceta UNAM*. Octava época. Vol. II.
- Carrick, T. (1982). More new textbooks for first examinations in biology. *Journal of Biological Education*. 16 (4), 253-264.
- Castellanos, J. C. (1988). *Ciencias Naturales I*. Ed. Esfinge, México.
- Castro, I. (1990). La enseñanza de la ciencia en la escuela elemental. *Cero en conducta*, 20: 4-12.
- Chamizo, J.A. (1992). Hacia una pedagogía de la naturaleza. *Educación Química*. 3, 150.
- Cohen, I. (1981). El descubrimiento newtoniano de la gravitación. *Investigación y Ciencia*. 56, 110-120.

- Coll, C. (1987). *Psicología y currículum. Una aproximación psicopedagógica de la elaboración del currículum escolar*. Ed. Laja, Barcelona.
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection*. John Murray, London.
- Deadman, J. y Kelly, P. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*. 12 (1): 7-15.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *Amer. Biol. Teacher*. 35, 125-129.
- Donelly, J. (1986). The work of Popper and Kuhn on the nature of science. *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Driver, R. (1986a). From theory to practice. *Science in schools* Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Driver, R. (1986b). Pupils alternative frameworks in science. *Science in schools* Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Driver, R. (1986c). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias* 4 (1), 3-15.
- Engel, E. y Wood, C. (1985a). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education* (19 (2), 125-130.
- Engel, E. y Wood, C. (1985b). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*. 19 (4), 304-310.
- Eldredge, N. y Gould, S. (1977). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism, en Scopf y Thomas, 82-115.
- Estebananz, A. (1994). *Didáctica e innovación curricular*. Ed. Universidad de Sevilla, España.
- Frisch, O. (1986). Why? *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Gardner, E. (1980). *Genética*. Ed. Limusa, México.

- Gilbert, J. (1986). Pupils' learning in science- issues in cognitive development. *Science in schools* . Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Gilbert, J; Osborne, R. y Fensham, P.(1986). Childrens's science and its consequences for teaching. *Science in schools* . Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Gil, D. y Guzmán, M. (1993). Propuestas alternativas para la producción de los conceptos científicos: del aprendizaje como cambio conceptual al aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática: tendencias e innovaciones*. Ed. Popular, España.
- Gimeno, J. (1984). *Investigación y desarrollo del currículum*. Ed. Morata, Madrid.
- Giordan, A. (1995). Los nuevos modelos de aprendizaje: ¿más allá del constructivismo?. *Perspectivas*. 1 (vol XXX) UNESCO.
- Gold, H. (1977). *Modeling of Biological systems: an introductory guidebook*. Wiley and Sons, N.Y.
- Gortari, E. (1979). *La ciencia en la historia de México*. Ed. Grijalbo.
- Gough, N. (1978). The necessity of evolution: law and logic in Darwin's explanation. *Journal of Biological Education*. 12 (1): 3-6.
- Grene, M.(1986). Perception, interpretation, and the sciences: toward a new philosophy of science. *Evolution at a crossroads: The new biology and the new philosophy of science*. David Depew and Bruce Weber (eds). MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- Granados, E. (1982). *Las ciencias naturales en educación secundaria*. DIE/CINVESTAV, México.
- Green, E. (1990). The logic of university student's misunderstanding of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*. 27 (9), 875-885.
- Gutiérrez, R. (1984). *Piaget y el currículum de ciencias*. Ed. Narcea, Madrid.
- Guerra, C. y Zamora, S. (1993). *Esquemas alternativos sobre evolución y su relevancia en la enseñanza de ese tema*. Ponencia presentada en el II Congreso Internacional de Profesores de Ciencias Naturales, México.
- Guevara, G. (1992a). El malestar educativo. *Nexos* 170: 21-36.

- Guevara, G. (1992b). La escuela primaria: el aula que quedó. *Nexus* 170: 31-36.
- Guillén, F. (1992). *Problemas asociados a la transmisión de conceptos científicos: tres ejemplos históricos*. Memorias del II Congreso Nacional de Divulgación de la Ciencia. Xalapa, Veracruz.
- Guillén, F. (1993). *El tema de la evolución en la enseñanza secundaria*. Memorias del II Congreso Internacional de Profesores de Ciencias Naturales. Oaxtepec, Morelos.
- Hardie, J. (1987). Do we really need a class textbook?. *Journal of Biological Education*. 21 (2), 74-75.
- Head, J.(1986). Personality and attitudes to science. *Science in schools* . Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Hernández, M. (1994). *El papel del conocimiento previo y la legibilidad del libro de texto en el aprendizaje de la teoría sintética de la evolución en la escuela secundaria*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Hodson, D. y Prophet, R. (1986). Why the sciences curriculum changes-evolution or social control? *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Jungwirth, E. (1975) The problem of teleology in biology as a problem of biology-teacher education. *Journal of Biological Education*, 9, 243-246.
- Jungwirth, E. (1977). Should natural phenomena be described teleologically or anthropomorphically? a science educator's view. *Journal of Biological Education*. 11 (3), 191-196.
- Jungwirth, E. (1988). The associative field as a diagnostic instrument in assessing the breadth of multi-contextual concepts: the concept "development". *Int. Journal of Science Education*. 10: 5, 571-579.
- Kargbo, D.; Hoobs, E. y Gaalen, E. (1980). Children's beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*. 14 (2), 137-146.
- Krauss, L. (1996). Vygotsky en el aula. *Educación 2001*. 9: 39-43.
- Kuhn, T. (1985). *La estructura de las revoluciones científicas*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Lazcano, A. (1988). *El origen de la vida*. Ed Trillas, México.

- Layton, D. (1986). Science education and values education-an essential tension. *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Leef, E. (Coordinador) (1990). *Medio ambiente y desarrollo en México*. Ed. Porrúa, México.
- López, A. (1979). *Los programas de secundaria general en México (1926-1975)*. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias. DIE/CINVESTAV, México.
- Lucas, A. (1987). Public knowledge of Biology. *Journal of Biological Education*. 21 (1), 41-45.
- Macnab, W., Hansell, M. y Johnstone, A. (1991). Cognitive style and analytical ability and their relationship to competence in the biological sciences. *Journal of Biological Education*. 25 (2), 135-139.
- Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought*. Ed. Belknap Press.
- Mayr, E. (1986). How biology differs from the physical sciences. *Evolution at a crossroads: The new biology and the new philosophy of science*. David Depew and Bruce Weber (eds). MIT Press, Cambridge Massachusetts.
- Medero, V. (1991). Inquietudes respecto a la sexualidad de niños de 5º y 6º grados de primaria. *Cero en Conducta*. 6: 57-60.
- Mowry, B. (1985). From Galen's theory to William Harvey's theory: a case in the rationality of scientific theory change. *Studies in History and Philosophy of Science*. 16, 49-82.
- Nieda, J. y Cañas, A. (1992). *Análisis comparado de los currícula de biología, física y química en Iberoamérica*. Ed. Mare Nostrum, España.
- Novak, J. (1976). Understanding the learning process and effectiveness of teaching methods in the classroom, laboratory and field. *Science Education* 60 (4): 493-512.
- Novak, J. (1978). El proceso de aprendizaje y la efectividad de los métodos de enseñanza. *Perfiles Educativos* 1, 10-31.
- Novak, J. (1988). Constructivismo humano un consenso emergente. *Enseñanza de las Ciencias* 6 (3): 213-223.
- Novak, J. y Gowin, D. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Ed. Martínez Roca, España.

- Novak, J. (1992). La necesidad de hacer una ciencia conceptualmente transparente. *Revista Colombiana de Educación* 24, 76-89.
- Okebukola, P. (1990). Attaining meaningful learning of concepts in genetics and ecology: an examination of the potency of the concept-mapping technique. *Journal of Research in Science Teaching*. 27 (5), 493-504.
- Okeke, E. y Wood, C. (1980). A study of nigerian pupils' understanding of selected biological concepts. *Journal of Biological Education*. 14 (4), 329-338.
- Osborne, R. y Wittrock, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*. 12, 59-87.
- Osborne, R.; Bell, B. y Gilbert, J. (1986). Science teaching and childrens' views of the world. *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Pansza, M. (1982). Una aproximación a la epistemología genética de Jean Piaget. *Perfiles Educativos*. 18, CISE, México.
- Pérez Pascual, R. (1991). La enseñanza de las ciencias. *Revista de la Universidad de México*. 480-481, 11-13.
- Pérez Tamayo, R. (1994). La filosofía de la ciencia y la biología. *Revista Plural de Excelsior*. 269, 12-16.
- Piaget, J. (1988). *Problemas de Psicología genética*. Ed. Ariel, México.
- Posner, G.; Strike, K.; Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Acomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*. 66 (2), 211-227.
- Pozo, J. y Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia? *Infancia y Aprendizaje*. 38, 35-52.
- Quiroz, R. (1991). Obstáculos para la apropiación del contenido académico en la escuela secundaria. *Infancia y Aprendizaje*. 55, 45-48.
- Reif, F. (1991). Cognition in scientific and every domains: comparison and learning implications. *Journal of research in science teaching*. 28 (9), 733-760.
- Reiss, M. (1985). The unit of natural selection: groups, families, individuals, or genes?. *Journal of Biological Education*. 19 (4), 287-292.

- Roberts, B. (1979). "Survival of the fittest" How the phrase has survived. *Journal of Biological Education*. 13 (1): 9-16.
- Rojas, G. (1985). *Introducción a la historia de la ciencia*. Ed. AGT. México.
- Rutherford, F. y Ahlgren, A. (1990). *Science for all americans*. Oxford University Press, New York.
- Sánchez, R. y Salgado, S. (1988). *Un modelo de educación integral para escuela media. Tesis de Licenciatura, Facultad de Pedagogía, E.N.E.P., Acatlán, UNAM.*
- Sarkar, S. (1991a). *Models of reduction and categories of reductionism*. Manuscrito no publicado.
- Sarkar, S. (1991b). Reductionism and functional explanation in molecular biology. *Uroboros*, 1, 67-94.
- Selley, N. (1986). The place of alternative models in school science. *Science in schools*. Brown, J; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Settlage, J. (1994). Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process. *Journal of Research in Science Teaching*. 31 (5): 449-457.
- Shayer, M. (1974). Conceptual demands in the O-level Nuffield biology course. *School, Sci. Rev.* 56, 381-388.
- Smocovitis, V. (1992). Unifying Biology: The evolutionary synthesis and Evolutionary Biology. *Journal of the History of Biology*. 25, 1-66.
- Stewart, J. et al (1979). Concept maps: a tool for use in biology teaching. *The American Biology Teacher*. 41 (3), 171-175.
- Talanquer, V. (1990). ¿Qué pasa en nuestra secundaria?. *Educación Química*. 2, 92-95.
- Tamir, P y Amir, R. (1987). The relationship between instructional strategies, study practices, and attitudes toward biology. *Journal of Biological Education*. 21 (4) 291-295.
- Thompson, P. (1983). The structure of evolutionary theory: a semantic approach. *Studies in History and Philosophy of Science*. 14, 215-229.
- Tirado, F. (1986). La crítica situación de la educación básica en México. *Ciencia y Desarrollo*. 71: 81-94.

- Tirado, F. (1990). La calidad de la educación básica en México. *Ciencia y Desarrollo*. Vol. XVI; 91: 59-69.
- Touraine, A. (1993). Crítica de la modernidad. Ed. Temas de Hoy, Madrid.
- Uzell, P. (1986). The changing aims of science teaching. *Science in schools*. Brown, J.; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Wagner, R. y Sternberg, R. (1984). Alternative conceptions of intelligence and their implications for education. *Review of Educational Research*. Vol. 54, 2: 179-223.
- Welford, A. y Donnelly, J. (1989). Biology in the secondary science curriculum. *Journal of Biological Education*. 23 (3), 208-212.
- Wheeler, J. (1987). Biological education- starting from the real world. *Journal of Biological Education*. 21 (2), 79-80.
- Wilson, E. (1975) *Sociobiology*. Cambridge: Harvard University Press.
- Yager, R. y Penick, J. (1983). Analysis of the currents problems with school science in the United States of America. *European Journal of Science Education*. 5, 463-469.
- Young, M. (1986). The schooling of science. *Science in schools*. Brown, J.; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.
- Ziman, J. (1986). Science education- for whom. *Science in schools* Brown, J.; Cooper, A.; Horton, T.; Toates, F.; Zeldin, D. (eds.) Open University Press, England.

## DOCUMENTOS

- Secretaría de Educación pública (1991a), *Lineamientos para ajustes a los contenidos de los programas de estudio vigentes* (plan 1974). Áreas.
- Secretaría de Educación Pública (1991b). *Programa de Modernización Educativa*.
- Secretaría de Educación Pública (1991c). *Hacia un nuevo Modelo Educativo*.
- Secretaría de Educación Pública (1992a). *Programas de estudios por asignaturas*.
- Secretaría de Educación Pública (1992b). *Guía para el maestro de biología*.
- Secretaría de Educación Pública (1993). *Plan y programas de estudio para secundaria*.
- Secretaría de Educación Pública (1994). *Libro para el maestro de Biología*

**APÉNDICE 1 TABLAS Y FIGURAS****Tabla 1. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: ¿Los animales y las plantas han sido siempre los mismos o han cambiado? (porcentajes)**

<b>Grado</b>	<b>Han Cambiado</b>	<b>No han cambiado</b>	<b>Depende</b>
<b>1A</b> n=24	<b>92</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
<b>2A</b> n=25	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2B</b> n=25	<b>96</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>3A</b> n=30	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>3B</b> n=21	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>1ACCH</b> n=16	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>3ACCH</b> n=15	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>3BCCH</b> n=13	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5QCCH</b> n=10	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5BCCH</b> n=12	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Media</b>	<b>98</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Tabla 2. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: ¿Por qué? (porcentajes)

Grado	Evolución	Adopción	Cambio ambiental	Perfección	Autropoiesis	Mutación	No fundamentada	Selección Natural
1A n=22	36	18	23	4	0	0	18	0
2A n=25	36	24	12	12	8	0	8	0
2B n=24	46	8	21	0	0	0	25	0
3A n=30	47	20	23	3	3	0	3	0
3B n=21	48	0	24	9	5	0	14	0
1ACH n=16	50	31	6	6	0	0	6	0
3ACH n=15	26	13	33	0	7	7	7	7
3BCH n=13	23	31	38	0	0	0	8	0
5QCH n=10	60	10	20	0	0	0	10	0
5BCH n=12	83	17	0	0	0	0	0	0
Media	45	17	20	3	2	1	10	1

Tabla 3. Promedio de respuestas por arriba de la media (+) por abajo de la media (-) o igual a la media (=), por grupo y por pregunta con respecto a las respuestas consideradas científicamente válidas (Examen argumentativo)

Grupo	PREGUNTAS							TOTAL				
	1	¿per qué?	2	3	4	5	¿per qué?	6	7	+	-	=
1A	-	-	-	-	-	-	-	+	-	1	8	0
1B	-	-	+	-	-	+	-	-	-	2	7	0
Fase I												
2A	+	-	-	+	+	+	-	-	+	5	4	0
2B	-	-	+	+	+	-	-	+	-	4	5	0
3A	+	+	-	-	+	+	+	-	+	6	3	0
3B	+	-	-	+	-	-	-	=	-	2	6	1
1A CCH	+	+	+	-	+	+	+	-	-	6	3	0
3A CCH	+	+	+	-	+	+	+	+	+	7	2	0
3B CCH	+	+	+	+	+	-	-	+	-	6	2	1
5Q CCH	+	+	+	-	+	-	+	+	-	6	3	0
5B CCH	+	+	+	+	+	+	+	-	+	8	1	0
1B Fase II	+	-	+	+	-	-	-	+	-	4	5	0

**Tabla 4. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: Da alguna razón que explique por qué los animales que viven en la nieve son blancos. (porcentajes)**

<b>Grado</b>	<b>Respuesta adaptativa correcta</b>	<b>Respuesta adaptativa incorrecta</b>	<b>No fundamentada</b>
<b>1A</b> n=24	<b>54</b>	<b>8</b>	<b>37</b>
<b>2A</b> n=25	<b>52</b>	<b>20</b>	<b>28</b>
<b>2B</b> n=25	<b>72</b>	<b>20</b>	<b>8</b>
<b>3A</b> n=30	<b>53</b>	<b>3</b>	<b>43</b>
<b>3B</b> n=21	<b>43</b>	<b>14</b>	<b>43</b>
<b>1ACCH</b> n=16	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>25</b>
<b>3ACCH</b> n=15	<b>66</b>	<b>7</b>	<b>27</b>
<b>3BCCH</b> n=13	<b>69</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
<b>5QCCH</b> n=10	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5BCCH</b> n=12	<b>67</b>	<b>8</b>	<b>25</b>
<b>Media</b>	<b>65</b>	<b>9</b>	<b>25</b>

**Tabla 5. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: ¿Qué pasaría si el ambiente cambiara y la mara desapareciera? (porcentajes)**

Grupo	Se adaptan	Se extinguen	Algunos se adaptan	Cambian	No fundamentado	Nada	Migran
1A n=24	4	50	4	4	29	8	0
2A n=25	24	44	8	8	16	0	0
2B n=25	20	56	8	4	8	0	4
3A n=30	7	26	10	7	50	0	0
3B n=21	9	14	19	9	48	0	0
1ACH n=16	0	37	6	19	37	0	0
3ACH n=15	0	13	7	0	80	0	0
3BCH n=13	8	8	15	23	46	0	0
5QCH n=10	0	0	10	10	80	0	0
5BCH n=12	25	33	25	8	8	0	0
Media	10	28	11	9	40	1	1

**Tabla 6. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: ¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes? (porcentajes)**

<b>Grado</b>	<b>Diferencias genéticas</b>	<b>Diferentes padres</b>	<b>Evolución</b>	<b>No fundamentada</b>
<b>1A</b> n=24	<b>29</b>	<b>37</b>	<b>4</b>	<b>29</b>
<b>2A</b> n=25	<b>76</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>2B</b> n=25	<b>60</b>	<b>32</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
<b>3A</b> n=30	<b>57</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
<b>3B</b> n=21	<b>71</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>19</b>
<b>1ACCH</b> n=16	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>3ACCH</b> n=15	<b>60</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>27</b>
<b>3BCCH</b> n=13	<b>92</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5QCCH</b> n=10	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>5BCCH</b> n=12	<b>100</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Media</b>	<b>74</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>9</b>

**Tabla 7. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: Si a una vaca le cortan los cuernos ¿cómo nacerán sus hijos? (porcentajes)**

<b>Grado</b>	<b>Con cuernos</b>	<b>Sin cuernos</b>	<b>Depende</b>	<b>No fundamentada</b>
<b>1A</b> n=24	79	12	4	4
<b>2A</b> n=25	92	4	4	0
<b>2B</b> n=25	88	0	0	12
<b>3A</b> n=30	93	7	0	0
<b>3B</b> n=21	90	0	0	9
<b>1ACCH</b> n=16	100	0	0	0
<b>3ACCH</b> n=15	93	7	0	0
<b>3BCCH</b> n=13	85	7	7	0
<b>SACCH</b> n= 10	90	0	0	0
<b>SBCCH</b> n=12	100	0	0	0
<b>Media</b>	91	4	2	3

**Tabla 8. Porcentaje de respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: ¿Por qué? (porcentajes)**

Grado	Se necesitan las cuernas	No hay relación	El cuerno no es genético	El cuerno ocurre cuando las cuernas ya están formados	No fundamentada
1A n=24	0	54	12	8	25
2A n=25	8	24	44	0	24
2B n=25	0	20	44	0	36
3A n=30	0	30	53	0	17
3B n=21	0	9	48	5	38
1ACCH n=16	0	50	31	19	0
3ACCH n=15	0	20	67	0	13
3BCCH n=13	0	15	46	0	38
5QCCH n=10	0	10	80	0	10
5BCCH n=12	0	17	75	0	8
Media	1	25	50	3	21

**Tabla 9. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: En una población de animales ¿¿ crees que todos los individuos cuando llegan a adultos se reproducen? (porcentajes)**

<b>Grado</b>	<b>Si</b>	<b>No</b>	<b>Depende</b>	<b>No fundamentada</b>
<b>1A</b> n=24	25	67	4	4
<b>2A</b> n=25	56	40	0	4
<b>2B</b> n=25	36	56	4	4
<b>3A</b> n=30	50	50	0	0
<b>3B</b> n=21	43	43	0	14
<b>1ACCH</b> n=16	50	44	0	6
<b>3ACCH</b> n=15	20	80	0	0
<b>3BCCH</b> n=13	38	61	0	0
<b>5QCCH</b> n=10	30	70	0	0
<b>5BCCH</b> n=12	83	17	0	0
<b>Media</b>	43	53	1	3

**Tabla 10. Respuestas por categoría y por nivel para la pregunta: ¿Qué entiendes por adaptación biológica (porcentajes)**

<b>Grado</b>	<b>Adapt. animal</b>	<b>Antropométrica</b>	<b>No fundamentada</b>	<b>Adapt. al medio</b>	<b>Cambios adaptativos</b>	<b>Adapt. imperativa</b>	<b>Adapt. a un medio diferente</b>	<b>Adapt. para sobrevivir</b>
<b>1A</b> n=24	0	4	50	29	4	8	4	0
<b>2A</b> n=25	24	0	16	36	16	0	4	4
<b>2B</b> n=25	16	16	12	40	4	4	8	0
<b>3A</b> n=30	10	3	13	47	17	0	7	3
<b>3B</b> n=21	9	9	33	33	5	0	9	0
<b>1ACH</b> n=16	6	6	25	37	6	12	0	6
<b>3ACH</b> n=15	0	0	27	60	13	0	0	0
<b>3BCH</b> n=13	8	0	38	31	23	0	0	0
<b>5QCH</b> n=10	20	10	10	50	10	0	0	0
<b>5BCH</b> n=12	17	0	8	58	0	0	8	0
<b>Media</b>	11	5	23	42	10	2	4	2

Tabla 11. Comparación en IB de secundaria antes (Fase I) y después (Fase II) de la intervención y promedio total del resto de los grupos (n=20).

1. Los animales y las plantas han sido siempre los mismos o han cambiado

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Han cambiado	100%	100%	98%
No han cambiado	0	0	1%
Depende	0	0	1%

¿Por qué?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Evolución	30%	25%	45%
Adaptación	5%	15%	17%
Cambio ambiental	25%	45%	20%
Perfección	10%	0%	3%
No fundamentada	30%	5%	10%
Antropocéntrica	0%	0%	2%
Necesidad	0%	10%	0%
Mutación	0%	0%	1%
Selección natural	0%	0%	1%

2. Da algunas razones que expliquen por qué los animales que viven en la nieve son blancos

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Resp. adaptativa correcta	75%	95%	65%
Resp adaptativa incorrecta	5%	0%	9%
No fundamentada	20%	5%	25%

3. ¿Qué pasaría si el ambiente cambiara y la nieve desapareciera?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Se adaptarian	0%	10%	10%
Se extinguirian	35%	45%	28%
Algunos se adaptarian	10%	35%	11%
Cambian	10%	0%	9%
No fundamentada	40%	10%	40%
Nada	5%	0%	1%
Migran	0%	0%	1%

4. ¿Por qué crees que los hijos del mismo padre pueden ser diferentes?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Diferentes genes	20%	35%	74%
Diferentes padres	35%	30%	16%
No fundamentada	40%	25%	9%
Evolución	5%	0%	1%
Variabilidad	0%	10%	0%

5. Si a una vaca le cortan los cuernos ¿cómo nacerá su hijo?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Con cuernos	95%	85%	91%
Sin cuernos	0%	5%	4%
Depende	5%	5%	2%
No fundamentada	0%	5%	3%

¿Por qué?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Los cuernos son necesarios	0%	3%	1%
No tiene nada que ver	25%	30%	28%
La mutilación no es genética	30%	20%	54%
No fundamentada	45%	25%	13%
El corte ocurre cuando los cuernos ya están formados	0%	0%	3%
Son caracteres adquiridos	0%	20%	0%

6. En una población de animales ¿tu crees que todos los individuos cuando llegan a adultos se reproducen?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Si	45%	40%	43%
No	40%	60%	53%
Depende	10%	0%	1%
No fundamentada	5%	0%	3%

7. ¿Qué entiendes por adaptación biológica?

Categoría	Fase I	Fase II	Prom total
Adaptación animal	5%	20%	11%
Antropocéntrica	10%	5%	5%
No fundamentada	50%	20%	23%
Adaptación al medio	25%	25%	42%
Cambios para adaptarse	5%	20%	10%
Adaptación imperativa	5%	10%	2%
Adaptación a un medio diferente	0%	0%	4%
Adaptación para sobrevivir	0%	0%	2%

Tabla 12. Frecuencia de cambios en IB de secundarias después de la intervención. 1 = RCV > RCV; 2 = RCV > 0; 3 = 0 > RCV; 4 = 0 > 0  
 (RCV = Respuesta Científicamente Válida; 0 = Otra)

PREGUNTA	¿Por Qué?				2				3				4				5				¿Por Qué?				6				7				TOTAL							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
NOMBRE																																								
1 GABRIEL	X				X						X			X			X	X			X		X			X			X					X			5	0	2	2
2 HECTOR	X					X	X				X	X			X			X	X		X		X				X			X				X			5	0	3	1
3 ALEJAN.	X						X					X		X						X							X							X			3	1	4	1
4 CITLALIN	X				X				X		X			X			X				X									X				X			7	2	0	0
5 KATIA	X				X						X	X		X			X					X					X			X				X			3	0	4	2
6 DIEGO	X				X				X		X			X						X			X				X			X				X			5	1	4	3
7 MARIANA	X					X				X				X						X							X			X				X			5	0	1	3
8 ALEJANI	X				X				X		X			X				X			X		X				X			X				X			4	0	2	3
9 CARLOS	X				X					X	X			X				X				X					X			X				X			4	1	2	2
10 VICTOR	X					X				X	X			X				X			X		X				X			X				X			7	0	1	1
11 LIBERT.	X				X					X	X			X				X			X						X			X				X			5	1	2	1
12 NATALIA	X					X				X	X			X				X			X		X				X			X				X			4	0	1	4
13 RICARD	X				X					X				X				X			X	X					X			X				X			2	1	1	5
14 YEZDI	X					X			X		X			X				X				X					X			X				X			9	0	0	0
15 SOFIA	X				X				X		X			X			X				X		X				X			X				X			5	1	1	2
16 MARTHA	X					X				X	X			X				X			X	X					X			X				X			6	1	1	1
17 ERANDI	X				X					X	X			X				X				X					X	X		X				X			3	1	1	4
18 ALETHIA	X					X				X	X			X				X				X					X	X		X				X			3	0	3	3
19 ARTURO	X				X				X		X			X				X			X		X				X			X				X			6	0	3	0
20 CESAR	X				X				X		X			X			X				X		X				X			X				X			7	9	4	10
	20	0	0	0	10	2	7	1	15	0	4	1	2	2	7	9	11	0	4	5	17	2	0	1	9	0	6	6	8	0	4	8	2	4	7	7	74	10	38	38

Mc Nemar Ji Cuadrada = 15.188; p < 0.0001

Tabla 13. Respuestas correctas examen conceptual (porcentaje)

Grado	Evolución	Set. Natural	Adepta- ción	Mutación	Variabi- lidad	¿Por qué?	¿Cómo?
1A N=25	56	20	16	20	32	52	8
1B N=23	39	13	8	4	4	43	0
2B N=22	59	18	22	4	0	50	18
3A N=24	62	33	37	25	0	54	12
3B N=28	42	28	27	0	14	32	0
1BCCH N=6	83	50	0	33	16	33	16
3ACCH N=5	60	40	20	60	20	20	0
3BCCH N=16	43	75	43	37	31	37	12
5BCCH N=8	100	62	50	25	62	37	0
Media	60	38	25	23	20	40	7

Tabla 14. Respuestas incorrectas examen conceptual (porcentaje)

Grado	Evaluación	Sel. Natural	Adaptación	Mención	Variabilidad	¿Por qué?	¿Cómo?
1A N=25	24	36	24	40	48	44	80
1B N=23	21	69	39	65	91	43	86
2B N=22	40	81	54	45	90	50	72
3A N=24	25	58	33	41	91	37	79
3B N=28	50	67	32	42	75	64	85
1BCCCH N=6	16	16	66	66	83	66	83
3ACCCH N=5	0	20	40	0	80	40	80
3BCCCH N=16	12	12	31	31	69	31	75
5ACCCH N=8	0	12	12	50	37	37	100

**Tabla 15. Respuestas parcialmente correctas, examen conceptual (porcentaje)**

Grado	Evolución	SeL Natural	Adaptación	Mutación	Variabilidad	¿Por qué?	¿Cómo?
1A N=25	20	24	60	40	20	4	12
1B N=23	39	17	52	30	4	13	13
2B N=22	0	0	22	50	9	0	9
3A N=24	12	8	29	33	8	8	8
3B N=28	7	3	41	57	10	3	14
IBCCH N=6	0	33	33	0	0	0	0
JACCH N=5	40	40	40	40	0	40	20
IBCCH N=16	44	12	25	31	0	31	12
SBCCH N=8	0	25	37	25	0	25	0

**Tabla 16. Promedio de respuestas por arriba de la media (+) por abajo de la media (-) o igual a la media (=), por grupo y por pregunta con respecto a las respuestas correctas. (Examen conceptual)**

Grado	Pregunta							Total		
	1	2	3	4	5	¿Por qué?	¿Cómo?	+	-	=
1A	---	---	---	---	+	+	+	3	4	0
1B	---	---	---	---	---	+	---	1	6	0
2B	---	---	---	---	---	+	+	2	5	0
3A	+	---	+	+	---	+	+	5	2	0
3B	---	---	+	---	---	---	---	1	6	0
1BCCH	+	+	---	+	---	---	+	4	3	0
3ACCH	=	+	---	+	=	---	---	2	3	2
3BCCH	---	+	+	+	+	---	+	5	2	0
5BCCH	+	+	+	+	+	---	---	5	2	0

**Tabla 17 Porcentaje total de todos los niveles, examen conceptual.**

<b>Grado</b>	<b>Respuestas correctas</b>	<b>Respuestas incorrectas</b>	<b>Respuestas parcialmente correctas</b>
<b>1A</b> N=175	<b>29%</b>	<b>45%</b>	<b>26%</b>
<b>1B</b> N=161	<b>16%</b>	<b>59%</b>	<b>24%</b>
<b>2B</b> N=154	<b>24%</b>	<b>62%</b>	<b>13%</b>
<b>3A</b> N=167	<b>32%</b>	<b>53%</b>	<b>15%</b>
<b>3B</b> N=28	<b>21%</b>	<b>59%</b>	<b>20%</b>
<b>1BCCCH</b> N=42	<b>33%</b>	<b>57%</b>	<b>9%</b>
<b>3ACCH</b> N=35	<b>31%</b>	<b>37%</b>	<b>31%</b>
<b>3BCCCH</b> N=112	<b>40%</b>	<b>37%</b>	<b>22%</b>
<b>5BCCCH</b> N=56	<b>48%</b>	<b>35%</b>	<b>16%</b>
<b>MEDIA</b>	<b>30%</b>	<b>49%</b>	<b>20%</b>

**TABLA 18. Comparación 1A antes (Fase I) y después (Fase II) de la intervención (porcentaje) N=22**

Grado	Respuestas correctas		Respuestas incorrectas		Respuestas parcialmente correctas	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
1	59%	91%	23%	0%	18%	9%
2	18%	27%	59%	68%	23%	4%
3	14%	9%	27%	23%	59%	68%
4	23%	18%	41%	18%	36%	64%
5	32%	50%	50%	27%	18%	23%
¿Por qué?	50%	50%	45%	18%	4%	32%
¿Cómo?	9%	23%	77%	64%	14%	13%

**Tabla 19. Comparación IB antes (Fase I) y después (Fase II) de la intervención (porcentaje) N=18**

Grado	Respuestas correctas		Respuestas Incorrectas		Respuestas parcialmente correctas	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
1	39%	89%	17%	0%	44%	11%
2	11%	33%	72%	61%	17%	5%
3	5%	11%	44%	11%	50%	78%
4	5%	11%	67%	39%	28%	50%
5	5%	22%	94%	72%	0%	5%
¿Por qué?	39%	39%	50%	39%	11%	22%
¿Cómo?	0%	22%	83%	78%	17%	0%

**TABLA 20. Comparación total antes (Fase I) y después (Fase II) de la intervención 1A y 1B (porcentaje)**

Grado	Respuestas correctas		Respuestas incorrectas		Respuestas parcialmente correctas	
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II
1A	29%	38%	47%	31%	24%	31%
1B	15%	32%	61%	43%	24%	25%

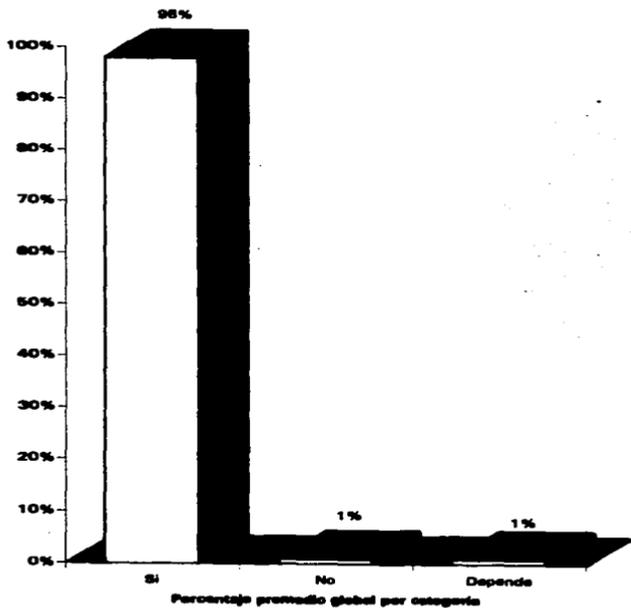
Tabla 21. Frecuencia de respuestas correctas (1 punto), incorrectas (0 puntos) y parcialmente correctas (0.5 puntos) antes y después de la intervención para primero "A"

NOMBRE	CORRECTA		INCORRECTA		PARC. CORRECTA		CALIFICACION	
	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
1. EMILIO	3	3	4	3	0	1	3	3.5
2. FRANCIS.	0	2	7	4	0	1	0	2.5
3. ELIUD	0	1	4	4	3	2	1.5	2
4. MONICA	4	4	0	1	3	2	5.5	6
5. ANA	7	3	0	0	0	4	7	6
6. LORENA	2	2	1	2	4	3	4	3.5
7. IVONE	3	4	3	2	1	1	3.5	4.5
8. NESTOR	3	1	3	5	1	1	3.5	1.5
9. MARIA	1	2	4	3	2	2	2	3
10. OMAR	3	2	3	2	1	3	3.5	3.5
11. MARCEL	2	3	3	2	2	2	3	4
12. ELISA	1	3	6	3	1	1	1.5	3.5
13. DIANA	1	5	3	0	3	2	2.5	6
14. SARA	1	4	4	1	2	2	2	5
15. ENRIQU.	0	2	6	3	1	2	0.5	3
16. IRENE	3	2	1	1	3	4	4.5	4
17. MILENCO	4	4	2	0	1	3	4.5	5.5
18. MIGUEL	4	3	2	3	1	1	4.5	3.5
19. JULIAN	0	1	7	4	0	2	0	2
20. ADRIANA	2	1	1	3	4	3	4	
21. ARTURO	1	5	3	0	3	2	2.5	6
22. VICTOR	0	2	5	2	2	3	1	3.5
	45	69	71	48	38	47	Prom. 2.90	Prom. 3.75

Tabla 22. Frecuencia de respuestas correctas (1 punto), incorrectas (0 puntos) y parcialmente correctas (0.5 puntos), antes y después de la intervención para primero "B"

NOMBRE	CORRECTA		INCORRECTA		PARC. CORRECTA		CALIFICACION	
	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
1. DIEGO	1	3	5	2	1	2	1.5	4
2. RICARDO	0	2	5	4	2	1	1	2.5
3. MAURICIO	1	1	4	5	2	1	2	1.5
4. MARIANA	0	2	7	4	0	1	0	2.5
5. MICHELLE	1	4	4	1	2	2	2	5
6. NATALIA	0	2	4	3	3	2	1.5	3
7. ERANDI	0	2	5	3	2	2	1	3
8. JONATH.	0	1	5	3	2	3	1	2.5
9. ALETHIA	1	0	5	4	1	3	1.5	1.5
10. VICTOR	0	4	5	2	2	1	1	4.5
11. KATIA	5	6	2	0	0	1	5	6.5
12. CITLALIN	2	3	2	1	3	3	3.5	4.5
13. ARTURO	0	2	5	3	2	2	1	3
14. MARTHA	1	1	2	4	4	2	3	2
15. LIBERT.	3	3	3	2	1	2	3.5	4
16. ALEJAN.	2	2	4	4	1	1	2.5	2.5
17. JOAQUIN	1	2	5	4	1	1	1.5	2.5
18. HECTOR	1	1	5	5	1	1	1.5	1.5
	19	41	77	54	30	31	Prom. 1.8	Prom. 3.1

Figura 1 ¿Los animales y las plantas han cambiado?



**Figura 2 ¿Por qué han cambiado los animales y las plantas?**

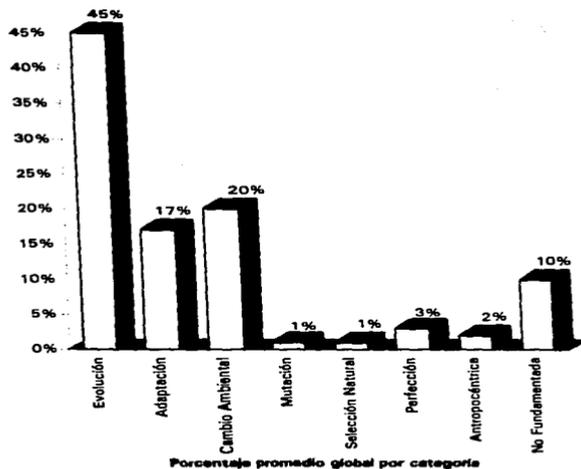


Figura 3 ¿Por qué los animales que viven en la nieve son blancos?

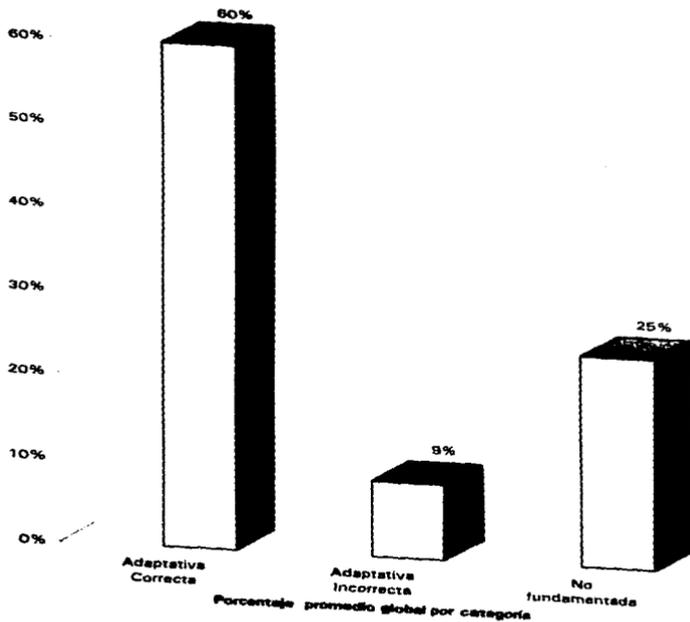
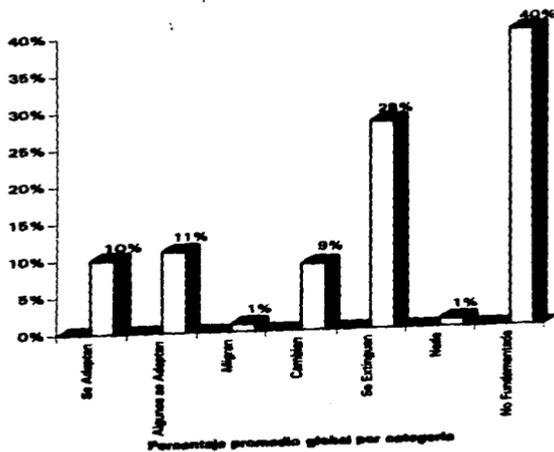
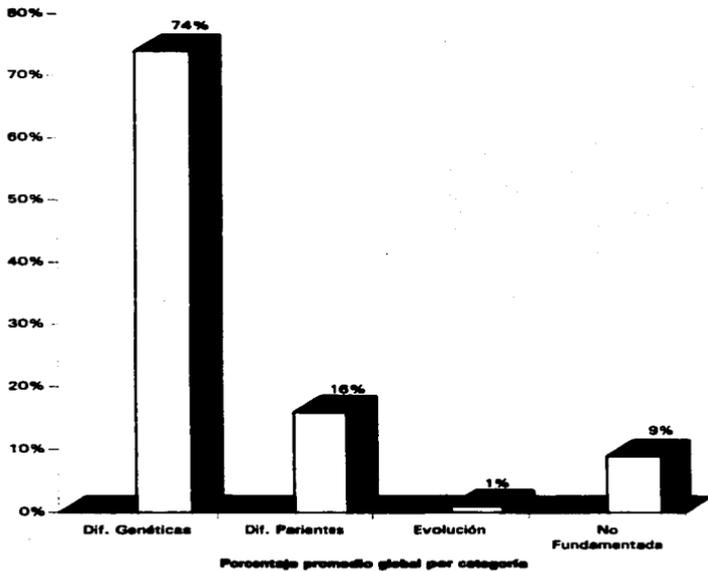


Figura 4 ¿Qué pasaría si el ambiente cambiara?



**Figura 5 ¿Por qué los hijos del mismo padre pueden ser diferentes?**



**Figura 6 Si a una vaca le cortan los cuernos  
¿Cómo nacerán sus hijos?**

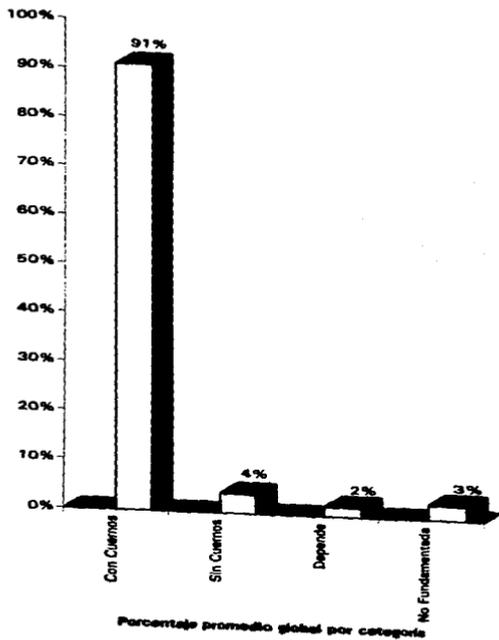
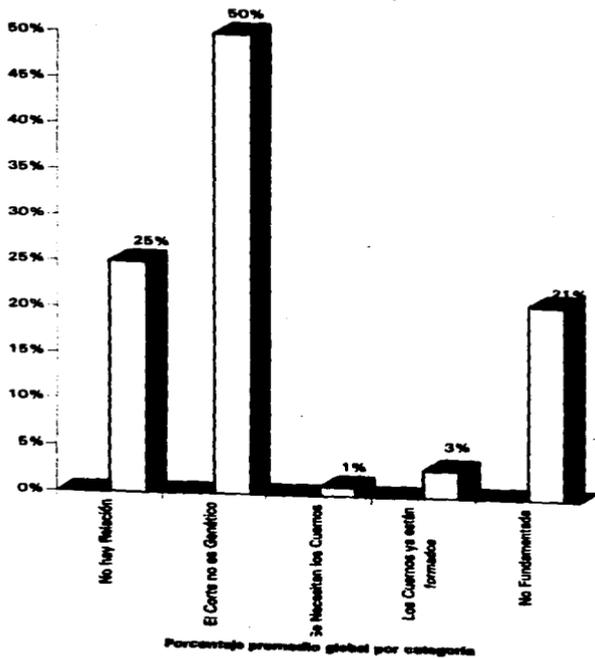


Figura 7 ¿Por qué las becerros reaccionan con cuernos?



**Figura 8 En una población ¿todos los individuos cuando llegan a adultos se reproducen?**

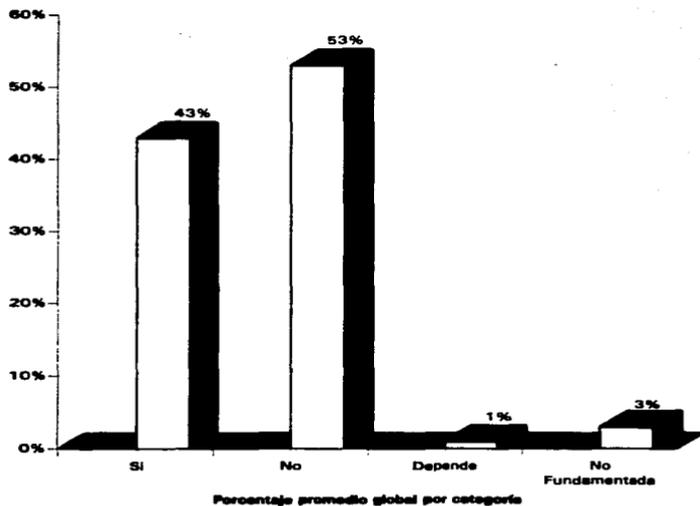
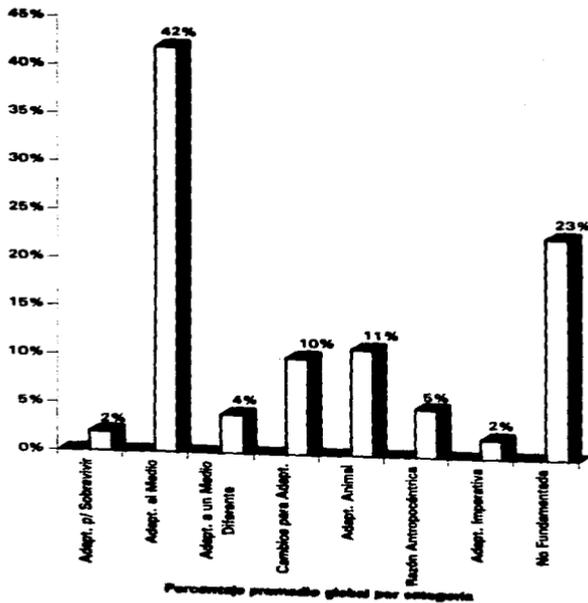


Figura 9 ¿Qué entiendes por adaptación biológica?



**Figura 10. Incremento en la frecuencia de respuestas correctas promedio con respecto a la proporción promedio total (examen argumentativo)**

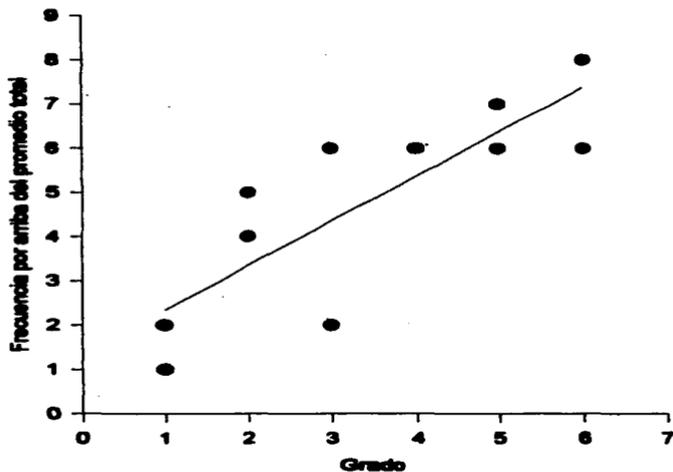
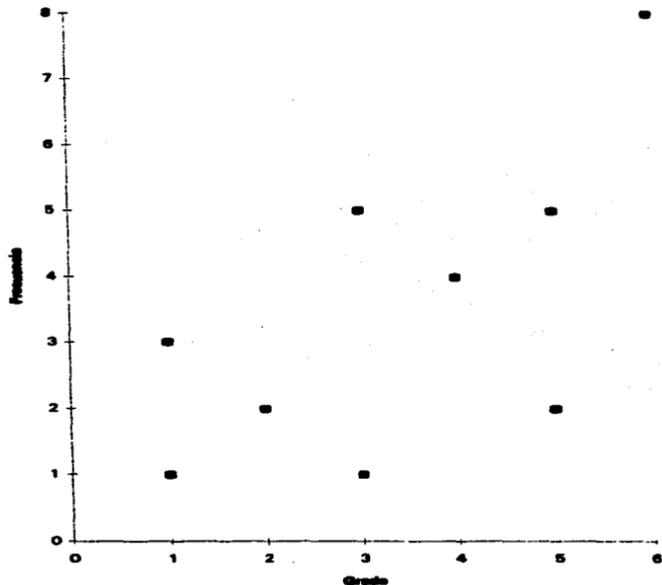
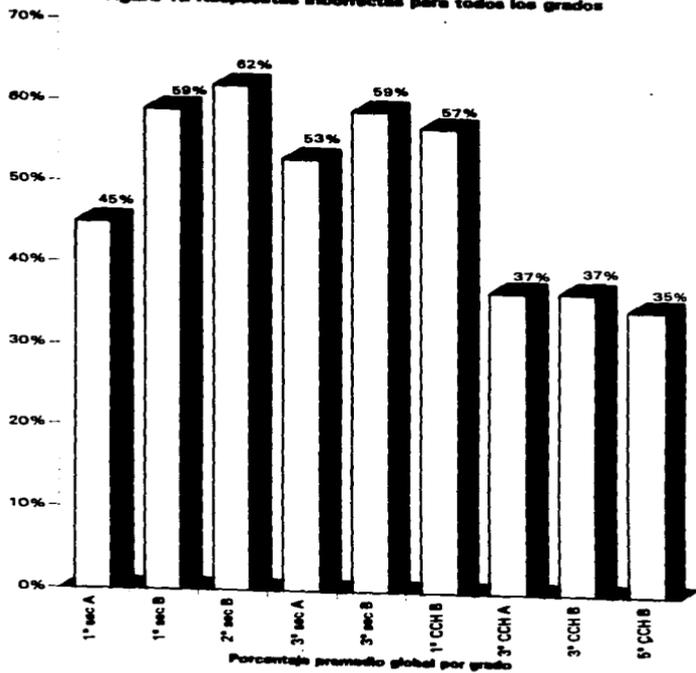


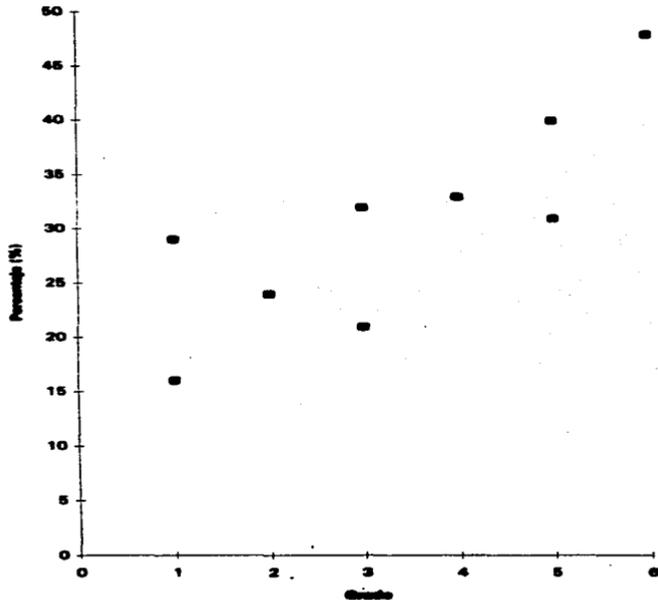
Figura 11 Incremento en la frecuencia de respuestas correctas por arriba del promedio total (examen conceptual)



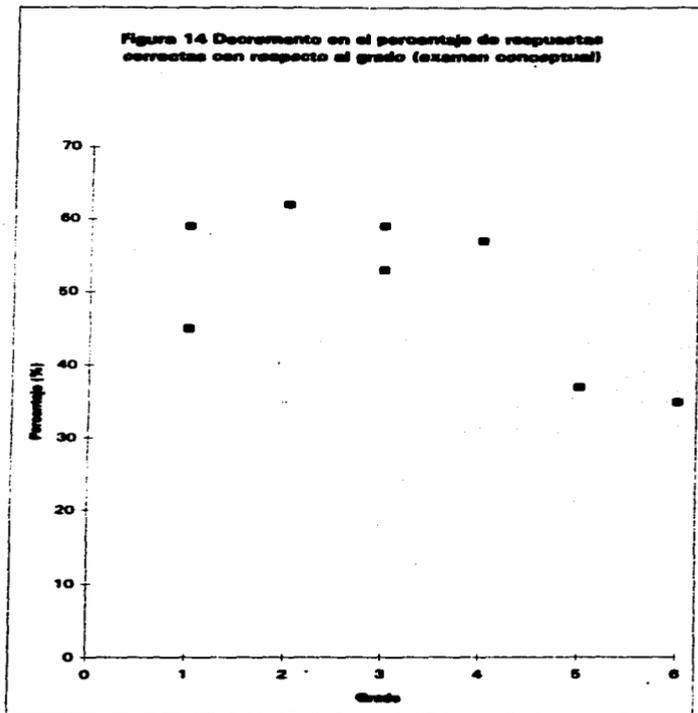
**Figura 12 Respuestas incorrectas para todos los grados**



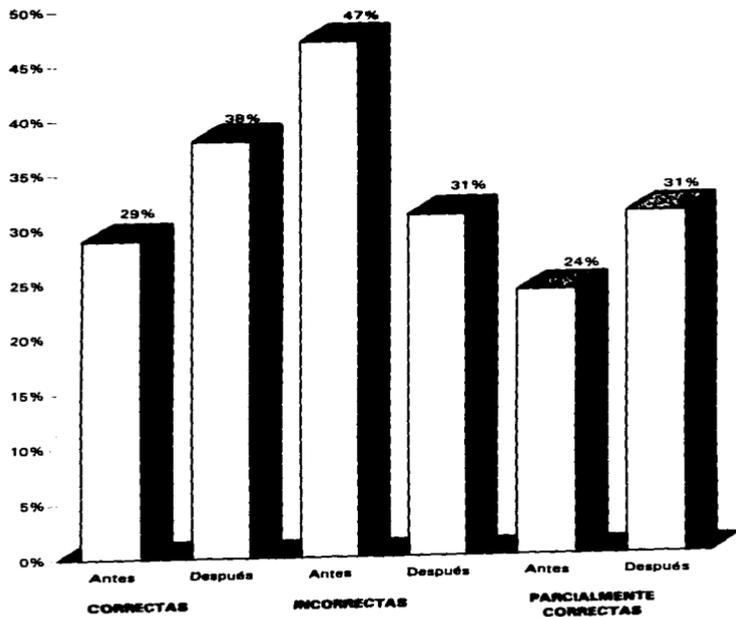
**Figura 13 Incremento en el porcentaje de respuestas correctas con respecto al grado (examen conceptual)**



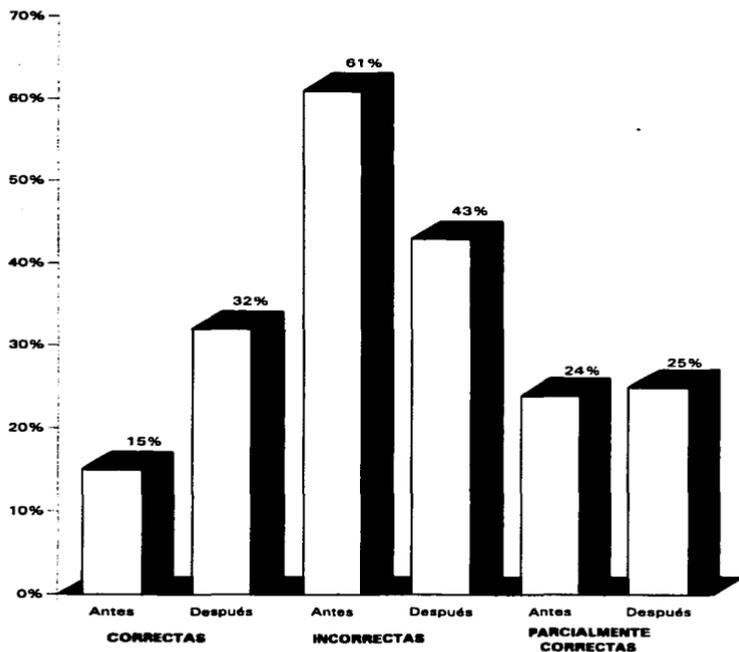
**Figura 14** Decremento en el porcentaje de respuestas correctas con respecto al grado (examen conceptual)



**Figura 15 Respuestas antes y después de la intervención (1° A)**



**Figura 16 Respuestas antes y después de la intervención (1° B)**



## **APÉNDICE 2 (SEP, 1992)**

### **Programa de biología para primer grado (1992-1993)**

#### **Unidad I. Diversidad: el mundo vivo y la ciencia que lo estudia.**

##### *Objetivo.*

Que el alumno advierta que en la naturaleza existe un gran diversidad de formas, estructuras y funciones de la materia viva y conozca que la biología es la ciencia que estudia el mundo vivo

- La diversidad del mundo vivo
  - microorganismos, plantas, animales
- La biología como proceso.
  - como investigar en biología
  - la relatividad del conocimiento científico
  - investigadores notables en el campo de la biología
  - Aristóteles, Linneo, Mendel, Darwin, Pasteur
  - algunos biólogos del siglo XX: Crick y Watson, Wilson, Lorenz, Alfonso Herera, Enrique Beltrán, Arturo Gómez Pompa.

#### **Unidad II. Unidad: células, tejidos y órgano.**

##### *Objetivo:*

Que el alumno identifique la célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos y comprenda como se organiza en sistemas más complejos.

- Seres acelulares y celulares
  - virus y bacterias
  - plantas y animales
- Estructura y funciones de la célula.
  - composición química
  - organelos celulares
  - funciones de la célula: nutrición, respiración, reproducción
- Principales tejidos de plantas y animales.
  - plantas: epidérmico, leñoso, de conducción
  - animales: epitelial, sanguíneo, muscular, óseo, nervioso y glandular.
- Algunos órganos de plantas y animales:
  - en las plantas: raíces, tallos, hojas, flores y frutos
  - en los animales: piel, órganos digestivos, respiratorios, etc.,
  - organización en sistemas
- Nociones de anatomía humana.

**localización de sistemas y función general**

óseo  
muscular  
digestivo  
respiratorio  
circulatorio  
excretor  
reproductor  
glandular  
nervioso y sentidos

**Unidad III. Funciones biológicas.**

*Objetivo:*

Que el alumno reconozca las funciones que realizan los seres vivos para mantener la vida, en particular el ser humano.

- Funciones vegetales.
  - fotosíntesis
- Funciones animales.
  - nutrición
  - respiración
  - circulación
  - excreción
  - reproducción
  - funciones nerviosas y hormonales

**Unidad IV. Continuidad y transformación: herencia y evolución**

*Objetivo:*

Que el alumno comprenda los mecanismos que aseguran la continuidad y transformación de los seres vivos y entienda el proceso de evolución orgánica.

- Origen de la vida.
  - experimentos de Redi, Spallanzani y Pasteur como respuesta de hipótesis teoría de Oparin y experimento de S. Miller
- La vida en las diferentes eras geológicas.
  - principales formas vivientes de cada era geológica
  - evidencia fósil
- Herencia biológica
  - algunos factores que se transmiten por vía genética
  - características no transmitidas por vía genética

materia genética

modificaciones del material genético

—Evolución biológica

selección natural

otros procesos evolutivos

—Evolución humana

el hombre en la escala zoológica

reconstrucción evolutiva

**Unidad V. Salud humana**

*Objetivo:*

Que a través del conocimiento de su cuerpo, el alumno desarrolle hábitos, actitudes, destrezas y valores que le permitan conservar su salud física y mental.

—Problemas de nutrición

desnutrición

obesidad

hábitos alimenticios que favorecen la salud

—Problemas respiratorios de salud y su prevención.

—Problemas circulatorios de salud y su prevención.

—Adicciones

tabaquismo

alcoholismo

drogas

—La automedicación y sus riesgos

—Higiene mental

actividades: deportivas, recreativas, artísticas, excursionismo, lectura

## **APENDICE 3 (SEP, 1993)**

### **Programa de biología para primero y segundo grados (1993-1994)**

#### **Primer grado**

##### **Unidad temática 1**

##### **El mundo vivo y la ciencia que lo estudia**

- 1 Historia y desarrollo de la biología
  - 1.1 Primeros conocimientos sobre los seres vivos
  - 1.2 Los trabajos de clasificación de Aristóteles
  - 1.3 La Edad Media: herbolaria, medicina y anatomía
  - 1.4 El descubrimiento del mundo microscópico: Leeuwenhoek
  - 1.5 Evolución y herencia: Darwin y Mendel
  - 1.6 La teoría sintética de la evolución
  - 1.7 El panorama actual
  - 1.8 biología y sociedad: la relación de la biología con las otras ciencias
2. Los seres vivos: el objeto de estudio de la biología
  - 2.1 Las características de los seres vivos (crecimiento, reproducción, irritabilidad, movimiento, metabolismo, organización, adaptación)
  - 2.2 Los componentes de los seres vivos: elementos, moléculas y células
3. Los métodos de la biología
  - 3.1 Conocimiento subjetivo y objetivo
  - 3.2 El conocimiento empírico y el método científico
  - 3.3 La experimentación en biología
  - 3.4 La comparación en biología
  - 3.5 La observación en biología
4. El laboratorio escolar
  - 4.1 Su función
  - 4.2 Los materiales en el laboratorio
  - 4.3 Normas de seguridad
  - 4.4 Ejemplos de trabajo en laboratorio
5. Prácticas de campo
  - 5.1 Su función
  - 5.2 Los materiales de la salida de campo
  - 5.3 Ejemplos de investigaciones de campo
6. Sentido y utilidad de los estudios de biología
  - 6.1 Conocimiento de los seres vivos
  - 6.2 Salud
  - 6.3 Alimentación
  - 6.4 Conservación ambiental

##### **Unidad temática 2**

##### **Evolución: el cambio de los seres vivos en el tiempo**

1. Ideas preevolucionistas
  - 1.1 Las primeras ideas: el fijismo
  - 1.2 Jean Baptiste Lamarck

## **2. Darwin y la selección natural**

- 2.1 Darwin y el viaje del Beagle
- 2.2 Las influencias de Darwin
- 2.3 La variabilidad y sus fuentes
- 2.4 La selección natural
- 2.5 La publicación de "El origen de las especies"

## **3. Evolución: diversidad y adaptación**

- 3.1 El origen de la diversidad biológica y la especiación
- 3.2 El principio de adaptación
  - 3.3 El neodarwinismo: nuevas evidencias para la teoría de la evolución

### **Unidad temática 3**

#### **Los seres vivos en el planeta**

##### **1. El origen de la vida**

- 1.1 La generación espontánea
- 1.2 Spallanzani y Needham
- 1.3 Pasteur
- 1.4 La panspermia
- 1.5 El creacionismo
- 1.6 La teoría de Oparin-Haldane
- 1.7 Los experimentos de Miller y Urey

##### **2. Las eras geológicas**

- 2.1 Los fósiles
- 2.2 Tipos de fósiles
- 2.3 Técnicas de fechamiento de fósiles
- 2.4 Criterio de división de las eras geológicas
- 2.5 La vida en las diferentes eras geológicas
- 2.6 Evolución humana

##### **3 Biodiversidad**

- 3.1 Tipos de seres vivos (terrestres, acuáticos; aerobios, anaerobios; autótrofos, heterótrofos.)
- 3.2 Importancia de la biodiversidad
- 3.3 Las razones que provocan la pérdida de biodiversidad
- 3.4 Especies en extinción
- 3.5 La gran diversidad biológica de México

##### **4. La clasificación de los seres vivos**

- 4.1 Criterios extrínsecos e intrínsecos
- 4.2 Las primeras clasificaciones
- 4.3 Los trabajos de Linneo
- 4.4 Niveles taxonómicos
  - 4.5 Los cinco reinos de los seres vivos: monera, protoctista, hongos, animales y plantas
- 4.6 El uso de los nombres científicos

#### **Unidad temática 4**

##### **Ecología: los seres vivos y su ambiente**

1. ¿Qué es la ecología?
  - 1.1 Origen del término
  - 1.2 Importancia del estudio de los procesos ecológicos
2. Los sistemas ecológicos
  - 2.1 Los factores bióticos y abióticos del ambiente
  - 2.2 Los ciclos del carbono, el nitrógeno y el agua
  - 2.3 El principio de la fotosíntesis
  - 2.4 Las cadenas alimentarias y la transferencia de energía
3. Los ecosistemas
  - 3.1 La dinámica de un ecosistema
  - 3.2 Diferentes tipos de ecosistemas
  - 3.3 El ecosistema local
4. Consecuencias de la actividad humana en el ambiente
  - 4.1 La tala inmoderada y sus consecuencias
  - 4.2 El sobrepastoreo
  - 4.3 La contaminación ambiental
  - 4.4 La pérdida de la biodiversidad
5. Acciones para prevenir problemas ambientales
  - 5.1 Fuentes alternativas de energía
  - 5.2 Regeneración del suelo
  - 5.3 Reforestación y reciclaje
  - 5.4 Medidas anticontaminantes

#### **Unidad temática 5**

##### **Genética: la ciencia de la herencia**

1. Las ideas sobre la herencia antes de Mendel
  - 1.1 Los primeros procesos de domesticación
  - 1.2 Hibridación
  - 1.3 El descubrimiento de los gametos: espermatozoides y óvulos
2. Los trabajos de Mendel
  - 2.1 Genotipo y Fenotipo
  - 2.2 Dominancia y recesividad
  - 2.3 Las leyes de Mendel
  - 2.4 Los chícharos: una elección afortunada
3. El ADN
  - 3.1 El enigma de la estructura del ADN
  - 3.2 El modelo de Watson y Crick
  - 3.3 Funcionamiento general
4. Cromosomas y genes
  - 4.1 ¿Qué es un gen?
  - 4.2 Los cromosomas y su importancia
  - 4.3 El cariotipo
5. Genética humana
  - 5.1 Herencia ligada al sexo

- 5.2 Enfermedades hereditarias y alteraciones genéticas
- 5.3 La interacción entre los genes y el ambiente
- 6. La manipulación de la herencia
  - 6.1 Clonación de organismos
  - 6.2 Procesos de inseminación artificial
  - 6.3 Fecundación *in vitro*

## ***Segundo grado***

### **Unidad temática 1**

#### **Niveles de organización de la materia viva**

1. Elementos que forman la materia viva
  - 1.1 Composición química de los seres vivos: C, H, O, N, S, P
  - 1.2 El carbono: elemento base de los compuestos orgánicos
    - 1.3 Compuestos orgánicos útiles al hombre (petróleo, plásticos, medicamentos)
2. Biomoléculas
  - 2.1 Los carbohidratos: el combustible principal de la célula
  - 2.2 Los lípidos: energía de reserva y materia prima de las membranas
    - 2.3 Las proteínas: moléculas de usos múltiples (su papel estructural, enzimático, como anticuerpos, etc.)
  - 2.4 Enzimas: activadores metabólicos
  - 2.5 Los ácidos nucleicos: las moléculas de la información
  - 2.6 Un caso especial: los virus

### **Unidad temática 2**

#### **La célula**

1. Desarrollo histórico del concepto de célula
  - 1.1 Los trabajos de Robert Hooke
  - 1.2 La teoría celular de Schleiden y Schwann
  - 1.3 La célula: unidad anatómica, fisiológica y de origen de los seres vivos
  - 1.4 Células procariontes y células eucariontes
  - 1.5 Diferentes tipos de células en el cuerpo humano
- 2 El sistema membranal
  - 2.1 La membrana celular y sus funciones
  - 2.2 Alimentación celular: endocitosis, vesículas y lisosomas, exocitosis
  - 2.3 La membrana nuclear y sus funciones
  - 2.4 El retículo endoplásmico, los ribosomas y la síntesis de proteínas
  - 2.5 Aparato de Golgi y secreción
- 3 El citoplasma
  - 3.1 Las mitocondrias y la respiración celular
  - 3.2 Los cloroplastos y la fotosíntesis
  - 3.3 El citoesqueleto y el movimiento celular
- 4 El núcleo y la división celular
  - 4.1 Los cromosomas
  - 4.2 La mitosis
  - 4.3 La meiosis
  - 4.4 El ADN y la replicación
  - 4.5 El ARN y la transcripción

### **Unidad temática 3**

#### **Funciones de los seres vivos**

1. Relación tejido-órgano-sistema
  - 1.1 Tejidos: su función y estructura
  - 1.2 Organos: su función y estructura

- 1.3 Sistemas: su función y estructura
- 2. Respiración
  - 2.1 La función de la respiración
  - 2.2 Organos especializados en la respiración
  - 2.3 Respiración aerobia y anaerobia
- 3. Circulación
  - 3.1 La función de la circulación: transporte de oxígeno y alimentos
  - 3.2 El medio de circulación, sangre, linfa, savia
  - 3.3 Los órganos especializados en la circulación
- 4. Nutrición
  - 4.1 La necesidad de alimento
  - 4.2 Organos especializados en nutrición
- 5. El crecimiento
  - 5.1 Glándulas y hormonas
  - 5.2 Las etapas del crecimiento de los seres vivos
  - 5.3 Cambios en la talla
- 6. La reproducción
  - 6.1 La función de la reproducción
  - 6.2 Reproducción sexual y asexual
  - 6.3 Organos especializados en la reproducción
- 7. Percepción y coordinación
  - 7.1 Los órganos de los sentidos
  - 7.2 El sistema nervioso central
  - 7.3 El sistema nervioso autónomo

#### **Unidad temática 4**

#### **Reproducción humana**

- 1. Sistema reproductor femenino y masculino
  - 1.1 Caracteres sexuales primarios y secundarios
  - 1.2 Madurez sexual
  - 1.3 Organos sexuales y su función general
- 2 El ciclo menstrual
  - 2.1 La ovulación
  - 2.2 El periodo menstrual
- 3 Fecundación y embarazo
  - 3.1 La relación sexual
  - 3.2 La fecundación: unión del espermatozoide y el óvulo
  - 3.3 El desarrollo embrionario
  - 3.4 El parto
- 4. Métodos anticonceptivos
  - 4.1 Métodos químicos
  - 4.2 Métodos mecánicos
  - 4.3 Métodos naturales
  - 4.4 Métodos quirúrgicos
  - 4.5 La importancia social de las medidas anticonceptivas
- 5. Enfermedades de transmisión sexual

5.1 ¿Qué es una enfermedad de transmisión sexual?

5.2 Mecanismos de prevención

5.3 Consecuencias para la salud de algunas enfermedades de transmisión sexual (sida, sífilis, gonorrea, herpes)

#### **Unidad temática 5**

##### **La salud**

1. La alimentación: base de la salud

1.1 La importancia de una dieta equilibrada

1.2 ¿Qué son las calorías?

1.3 Los tres grupos de alimentos (cereales y tubérculos; frutas y verduras; leguminosas y alimentos de origen animal)

1.4 ¿Qué comemos los mexicanos?

2. Enfermedades infecciosas y parasitarias más comunes en el hombre

2.1 Las enfermedades locales más comunes y sus agentes

2.2 Los mecanismos de prevención

3. Uso de los servicios de salud

3.1 Las clínicas de salud

3.2 La importancia de una opinión especializada sobre la salud

4. Tabaquismo, drogadicción y alcoholismo

4.1 Las causas de las adicciones

4.2 El tabaquismo y sus consecuencias para la salud

4.3 El alcoholismo y sus consecuencias para la salud

4.4 La drogadicción y sus consecuencias para la salud

5. Responsabilidad del estudiante en torno a la vida

5.1 La importancia del respeto a los seres vivos

5.2 El papel del hombre en la transformación del planeta

5.3 El futuro

## **AGRADECIMIENTOS**

Para poder realizar este trabajo ocurrieron una serie de circunstancias que tienen un nivel de probabilidad de ocurrencia equivalente al necesario para que se originara la vida en la Tierra. En primer lugar que la Facultad de Ciencias reconociera que este era un trabajo pertinente en su estructura asumiendo que la transmisión del conocimiento biológico es también biología (como no) , por lo que el primer agradecimiento es para quién autorizó la realización de esta tesis, cuyo nombre ignoro.

En segundo lugar, que existieran dentro de la universidad dos investigadores que decidieron meter el hombro y guiar este trabajo hasta sus últimas consecuencias (que son éstas). El doctor Miguel Ángel Campos mostró no sólo conocimiento y tino en la dirección de la tesis, sino una paciencia infinita ante mi inconstancia. La doctora Ana Barahona, cotutora, acompañó este peregrinar académico aportando valiosos comentarios y estrategias de trabajo que (ella lo sabe) mucho le agradezco.

La maestra Elisa Bonilla, además de formar parte de mi comité tutorial, le dio un magnífico espacio de expresión a este trabajo dentro del Sistema Educativo Nacional. Elisa Bonilla, por otro lado, en su calidad de mi jefa en el ámbito laboral, ofreció en todo momento la posibilidad de avanzar en la tesis y ello resultó invaluable.

Los sinodales tienen mi reconocimiento por el solo hecho de haber leído mi trabajo, tarea que considero igual de atractiva que cargar diez kilos de cemento. José Luis Osorno hizo aportaciones fundamentales, ayudó en la estadística final y generó una muy rica discusión sobre las formas de generar conocimiento. Xavier Chiappa me sorprendió por su memoria para citar párrafos textuales del trabajo y sugirió una nueva estructura que resultó definitiva. José Antonio Chamizo y Andoni Garritz (una mancuerna envidiable de químicos) realizaron una serie de precisiones inobjectables que yo (el autor) no había visto y probablemente nunca vería. Gracias a todos.

Pretender que un trabajo como este sea una obra individual no sólo sería soberbio sino profundamente injusto. La reforma educativa de la biología fue acompañada por un equipo de trabajo que aportó ideas, diseñó materiales y por sobre todas las cosas ofreció su enorme capacidad. Este equipo estaba formado por Leticia Durand, María Elena Henández - que además ayudó a realizar el pilotaje- y Martín Bonfil, quien invirtió horas y horas

dándole un formato editorial al trabajo cuando seguramente tenía cosas mejores que hacer. Ellos tres son mis amigos y si hacía falta alguna prueba lo demostraron cabalmente con su ayuda.

Constantino Macías ofreció una ayuda definitiva en todo el análisis estadístico y develó misterios de la probabilidad hasta ese momento vedados para mí. Su contribución fue determinante. Asimismo debo agradecer al Centro de Integración Educativa, la escuela que con una generosidad enorme permitió que yo entrara y saliera aplicando exámenes cuando lo que menos se necesitaba eran exámenes. Su director Roberto Sánchez tiene todo mi agradecimiento.

La Dirección General de apoyo al Personal Académico de la UNAM y el Sistema Nacional de Investigadores me apoyaron para la realización de la tesis y es por ello que agradezco a los anónimos comités que contribuyeron a esta decisión.

Finalmente debo decir que hace diez años al terminar mi trabajo de licenciatura, agradecí a un montón de personas que hoy descubro podrían ser las mismas; ello es una buena señal y significa que mi entorno de amigos y familiares (con una que otra baja) se conserva y me permite seguir haciendo estos desfiguros. Para todos ellos gracias, gracias, gracias.