



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FACULTAD DE CIENCIAS

LA UTILIZACIÓN DE LA FILOGENIA
COMO HERRAMIENTA PARA LA
ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA
EVOLUTIVA A NIVEL MEDIO SUPERIOR

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE : MAESTRO EN
DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR (BIOLOGÍA)

P R E S E N T A
RITA DOLORES CAMACHO QUEZADA

TUTOR

DR. EN C. ARTURO CARLOS II BECERRA BRACHO

MÉXICO D.F.

ABRIL 2012



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Con todo mi amor a mi madre

Ma. Dolores Quezada Villegas

y a mi hija

Amanda Camacho Quezada

Agradecimientos:

Con todo mi respeto y profunda admiración al **Dr. Arturo Carlos II Becerra Bracho** por la confianza que tuvo en mí al aceptarme como estudiante, por todo el tiempo que dedicó a apoyarme para desarrollar mi trabajo, sus comentarios y sugerencias enriquecieron mi formación como persona, bióloga y docente. De igual manera al **Maestro Mauro Sergio Solano Olmedo** por toda su paciencia y tiempo dirigiendo y enriqueciendo mi trabajo.

A **Karina Patricia Lagar Hernández** y **Laura E. Hernández Jiménez** por su acompañamiento y por brindarme el honor de ser su amiga.

A todos los que han sido, son y serán **mis estudiantes**, porque por ellos debo ser cada día mejor docente.

CONTENIDO

	Página
Resumen.....	1
Presentación.....	2
CAPÍTULO 1	
Panorama general de la educación media superior en México.....	6
1.1 El problema de la educación media superior en México.....	8
1.2 La educación media superior en ciencias.....	13
1.2.1 Alfabetización científica.....	22
1.2.2 La educación en ciencias.....	24
1.2.2.1 Ámbitos y aspectos de la ciencia importantes para la alfabetización científica.....	26
1.2.2.2 Estándares en ciencias.....	29
1.2.2.3 Estándares en evolución biológica.....	31
CAPÍTULO 2	
La evolución como pilar de la enseñanza de la biología evolutiva en el bachillerato.....	34
2.1 La evolución biológica.....	34
2.1.2 Filogenia y árboles filogenéticos.....	36
2.2 Trascendencia de la Teoría de la evolución.....	37
2.3 Importancia de la enseñanza de la Teoría de la evolución en la materia de Biología...	39
CAPÍTULO 3	
Propuesta.....	46
3.1 Fundamentos de la propuesta.....	47
3.2 Secuencia didáctica.....	53
Actividad 1.....	53

Actividad 2.....	59
Actividad 3.....	67
3.3 Evaluación de las actividades.....	73
Reporte de lo obtenido con la aplicación de la propuesta.....	75
Comentarios finales.....	86
Anexos.....	88
Referencias.....	94

Índice de tablas, gráficas y figuras

		Página
Tabla 1	Matrícula de la EMS en México, 1950-2000.	9
Tabla 2	Matrícula de la EMS por género 1990-2003.	10
Tabla 3	Porcentaje de absorción, eficiencia terminal, reprobación y deserción 1994-2004.	10
Tabla 4	Indicadores de la calidad de la EMS 1980-2010.	11
Gráfica 1	Medidas de desempeño en ciencias en países seleccionados PISA 2009.	17
Gráfica 2	Porcentaje de estudiantes ubicados en niveles de desempeño en ciencias.	19
Gráfica 3	Medias de desempeño en ciencias para los países participantes PISA 2009.	20
Gráfica 4	Porcentaje de estudiantes ubicados en niveles de desempeño en ciencias, comparativo para entidades de nuestro país PISA 2009.	21
Figura 1	Los tres dominios de la ciencia.	27
Figura 2	Árbol evolutivo.	36
Tabla 5	Resultados de la aplicación del pre y postest.	75
Tabla 6	Frecuencia de las respuestas correctas e incorrecta antes y después de la aplicación de la secuencia.	76
Gráfica 5	Comparación de la frecuencia de respuestas en el instrumento de evaluación antes y después de desarrollar la secuencia didáctica.	77
Gráfica 6	Comparación de la frecuencia de respuestas en el instrumento de evaluación antes y después de desarrollar la secuencia didáctica.	77

Resumen

Los estudiantes de Educación Media Superior en México, carecen de conocimientos y habilidades que les proporcionen desarrollo personal, mejor calidad de vida, competitividad, y oportunidades, por lo que es importante que se busquen y apliquen nuevas formas de mejorar su preparación. El egresado del nivel medio superior debería tener dominio de habilidades científicas y en biología conocimientos básicos en: características de la ciencia, evolución, genética, bioquímica, ecología, y otros, en evolución biológica debería identificar relaciones entre mutación, selección natural y herencia, origen y evolución de los organismos, explicar la relación entre el ADN, el ambiente y la diversidad de seres vivos, reconocer ejemplos de selección natural, entre otros. Sin embargo; el tema de evolución según se ha observado en diversos estudios es difícil de comprender y de enseñar ya que encierra una gran cantidad de conceptos que tienen que ser comprendidos y relacionados entre sí, las ideas iniciales de los alumnos son también impedimentos para un buen aprendizaje. La secuencia didáctica que se desarrolla en el presente trabajo tuvo como objetivo mejorar la comprensión de la evolución en estudiantes de bachillerato utilizando actividades basadas en la construcción y comprensión de árboles evolutivos. La secuencia se aplicó dentro de la unidad de evolución en un grupo de estudiantes de segundo año de bachillerato. Se aplicó un cuestionario de diez preguntas a manera de pre y post test, en donde al comparar las respuestas se observó que el número de respuestas correctas fue significativamente mayor después de la realización de las actividades. La evaluación de las actividades se realizó con presentaciones orales por parte de los estudiantes con posterior discusión grupal, cuestionarios y un portafolio con las evidencias del trabajo desarrollado. Se puede decir que se comprendió lo que representa un árbol evolutivo y conceptos conexos con él como evolución, ancestría común, ancestría-descendencia, especie biológica, especiación, extinción, homología y analogía, caracteres derivados y ancestrales, divergencia, mutación, herencia, linaje, entre los principales.

Presentación

En el presente trabajo se plantea una propuesta para la enseñanza-aprendizaje de la biología evolutiva en el bachillerato a través de la observación, comparación, clasificación y reconocimiento de datos morfológicos y moleculares. El trabajo parte del problema de que los estudiantes de biología no comprenden la evolución biológica. Con la realización de esta propuesta se busca que los estudiantes puedan desarrollar capacidades como construir hipótesis basadas en evidencias, comparar características en un grupo de organismos, buscar información sobre datos moleculares y compararlos, hasta llegar a la reconstrucción guiada de una filogenia, es decir explicar las relaciones de parentesco entre un grupo de animales. La propuesta representa una opción hacia el propósito del desarrollo de estrategias que permitan cambiar la situación actual en la preparación de nuestros estudiantes de bachillerato.

De acuerdo con evaluaciones internacionales como PISA (*Programme for International Student Assessment*) los estudiantes de alrededor de quince y dieciséis años en nuestro país no se encuentran bien preparados para tener éxito en el mundo en donde tendrán que desarrollarse. Nuestros estudiantes carecen de las habilidades que les permitan comprender, interpretar y resolver problemas, y por lo tanto que les proporcionen desarrollo personal, competitividad y oportunidades educacionales y ocupacionales no sólo en ciencias, sino en otros campos como lectura, matemáticas y computacionales, lo que los pone en desventaja frente a estudiantes de otros países y nos impide el desarrollo como nación en diversas áreas. Por lo tanto es importante que constantemente se busquen y se apliquen nuevas formas de mejorar la preparación de los jóvenes.

Diversos estándares internacionales en ciencias enfatizan que los estudiantes de nivel medio superior tienen que egresar de este nivel con conocimientos sólidos en Biología con dominio de habilidades científicas, tales como identificar las características de la evolución biológica, establecer relaciones entre mutación, selección natural y herencia; formular hipótesis acerca del origen y evolución de un grupo de organismos; explicar la relación entre el ADN, el ambiente y la diversidad de los seres vivos y comparar casos en especies actuales que ilustren diferentes acciones de la selección natural, entre los principales.

El estudio de la evolución biológica en el bachillerato es importante ya que permite al alumno integrar conocimientos de biología y comprender que las especies están relacionadas entre sí por relaciones de parentesco; si bien el tema ha sido también históricamente sujeto a grandes controversias, diversas críticas e interpretaciones, en México, la gran mayoría de los currículos de enseñanza media superior contemplan el estudio del tema de evolución biológica; sin embargo, la perspectiva desde la que se aborda este contenido sigue siendo en muchos casos de enseñanza-aprendizaje tradicional y positivista, lo que muestra a la ciencia como un objeto no sólo ajeno sino completamente verdadero.

Existen muchos problemas en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Evolución (Brumby, 1979; Greene, 1990; Bishop y Anderson, 1985; Settlage, 1994; Settlage *et al.*, 1996; Trowbridge y Wandersee, 1994; Zuzovsky, 1994), entre ellos están la propia complejidad conceptual de los temas, la formación limitada y deficiente de los profesores, un sinnúmero de concepciones e interpretaciones erróneas de los estudiantes en torno a la idea de evolución, la falta de estrategias enfocadas al aprendizaje, entre muchas otras que hacen difícil la correcta enseñanza-aprendizaje de la misma (Hernández y Ruiz, 2000).

En los cursos tradicionales de bachillerato, los profesores muchas veces de manera involuntaria propician la memorización de conceptos en detrimento de la formación de conexiones y razonamientos elaborados por los estudiantes sobre temas fundamentales como la evolución que los ayuden a una mejor comprensión. Además, el tiempo que se les dedica a los temas es escaso ya que el currículo suele ser muy ambicioso en cuanto al número de contenidos.

Para lograr que el estudiante de bachillerato adquiriera un conocimiento suficiente sobre la evolución biológica de tal forma que le permita integrar los conocimientos biológicos que adquiere durante sus estudios y que, al mismo tiempo le sirva como soporte para la reflexión sobre su lugar en la naturaleza, se requiere de la modificación de los papeles que hasta ahora desarrollan el estudiante y el profesor para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Jiménez *et al.*, 2008).

En ese sentido la secuencia didáctica que se desarrolla en el presente trabajo tiene como objetivo principal facilitar y mejorar la comprensión de la evolución en estudiantes de bachillerato, así como la capacidad analítica, el pensamiento lógico, la argumentación y comunicación de ideas, elaboración de hipótesis, construcción de explicaciones y predicciones basadas en evidencias a través de la reconstrucción de una filogenia. Consta de tres actividades basadas en la construcción y posterior explicación de árboles evolutivos con el objetivo de que el alumno sea capaz de representar y explicar las relaciones evolutivas entre algunos seres vivos. La secuencia se presenta a los estudiantes de tal manera que comparen ocho organismos para que puedan inferir sus posibles relaciones evolutivas. Una de las actividades se realiza con la ayuda de una computadora y de dos programas especializados en biología que resultan motivadores para los estudiantes que en la actualidad se encuentran muy ligados a las tecnologías de la información y la comunicación. En el desarrollo de estas actividades los estudiantes recogen datos morfológicos y de ADN para las especies presentadas, los usan para realizar sus inferencias y discuten en grupo para analizar las soluciones propuestas.

El desarrollo de las actividades en clase permite que los estudiantes participen activamente en el proceso de aprendizaje primero en equipos de trabajo y luego grupalmente, para discutir sus propios resultados, de tal manera que la participación activa, la participación en grupos y la interacción frecuente proporcionen un medio adecuado para que se faciliten otros conocimientos básicos en biología. Así mismo se desarrolla la habilidad de pensamiento lógico además de destrezas y habilidades para la resolución de problemas según se expresa en diversos estándares internacionales.

El aprendizaje de la evolución a través de la observación, comparación, clasificación, reconocimiento e interpretación de árboles filogenéticos facilitará el aprendizaje de los estudiantes, ya que estos proporcionan información básica sobre cómo funciona la evolución y la ilustran gráficamente (Baum y Offner, 2008). De la misma manera facilita el estudio de otros componentes de la evolución como: escala de tiempo, extinción, especiación, ancestría-descendencia, parentesco evolutivo, mutación y herencia por mencionar algunos; además hoy en día se encuentran árboles evolutivos con más frecuencia en diversas publicaciones desde libros de texto de secundaria, bachillerato y superior, hasta artículos científicos especializados. Al profesor, la aplicación de estas actividades le brinda la oportunidad de organizar y presentar los contenidos de una forma diferente a

la tradicional que generalmente parte del estudio de la historia de Charles Darwin, su viaje y los postulados de su teoría plasmados en “El origen de las especies”.

La organización de una secuencia didáctica en torno a la elaboración de un árbol evolutivo y las relaciones filogenéticas es una forma de alentar el aprendizaje de la biología en su conjunto en un contexto evolutivo. Al mismo tiempo se puede resaltar la naturaleza de la ciencia, haciendo énfasis en que los cladogramas resultantes no son verdades absolutas, sino hipótesis flexibles y cambiantes, para que los estudiantes comprendan que la práctica científica es un proceso continuo y discutible, así como la importancia del análisis y de las críticas que refuerzan la importancia de la filosofía de la ciencia y del pensamiento crítico.

En el capítulo uno de este trabajo se plantea la situación general de la educación media superior en México, el estado actual de la enseñanza de las ciencias, los problemas que se presentan en las aulas y la enseñanza-aprendizaje de la evolución biológica en nuestro país, así como un panorama acerca de la relevancia del estudio de la evolución biológica en el bachillerato y la importancia de la enseñanza acerca de la naturaleza de la ciencia. El segundo capítulo describe la propuesta, sus fundamentos e incluye las tres actividades escritas como material para el profesor. El capítulo tres desarrolla el reporte de la aplicación de la propuesta y la validación de las actividades. Al final se incluyen los comentarios finales derivados de la aplicación de dicha propuesta.

CAPÍTULO 1

Panorama general de la educación media superior en México

La educación media superior en México es uno de los niveles educativos con mayores problemas, pues aún no ha podido dar atención a la demanda masiva sino que tampoco ha resuelto los grandes problemas que presenta en cuanto a la cobertura, calidad, relevancia y pertinencia, resultados del abandono de años en donde han faltado políticas que permitan elevar su calidad y dar una mejor respuesta a las necesidades de los jóvenes en nuestro país.

En cuanto al aprendizaje que logran los alumnos en el área científica, según datos de PISA (ver recuadro en página 7) por sus siglas en inglés (*Programme for International Student Assessment*) nuestros estudiantes no tienen las habilidades para recurrir a evidencias científicas y definitivamente presentan muchas dificultades para analizar datos y experimentos, lo que demuestra que en nuestro país aún se da mucha importancia a la memorización y posterior repetición de conocimientos en detrimento de la adquisición de otro tipo de habilidades como la comprensión, el análisis, pensamiento lógico y crítico, etc. que les serán necesarias para enfrentar con éxito el mundo actual y el mercado de trabajo del mañana. Esta situación nos pone en desventaja ante otros países en donde en general se tienen mayores oportunidades para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Los gobiernos tienen que asegurar el apoyo para ampliar las oportunidades de los jóvenes y brindar una educación de calidad, así como fomentar la importancia de las ciencias. La investigación educativa en nuestro país tiene ante sí una labor exhaustiva para indagar datos que nos brinden una información real y completa acerca de la labor que desempeñan los docentes en educación media superior, para que podamos saber quiénes son los docentes, como desempeñan su trabajo, desde donde lo realizan, etc. ya que en la actualidad se desconoce incluso que tipo de profesionales son los encargados de este tipo de educación.

A su vez, los docentes tienen que prepararse para responder a las exigencias del servicio que prestan y a las necesidades cambiantes de los jóvenes para lograr no solo el aprendizaje de los contenidos sino que los estudiantes puedan aplicar sus conocimientos como respuesta y solución a los muchos problemas y necesidades que se presentan en la vida diaria y en un mañana próximo con la sociedad. En este sentido, el desarrollo de estrategias de enseñanza-aprendizaje que promuevan esas habilidades y competencias con respecto a estándares establecidos es de vital importancia, ya que el camino se empieza en la planeación y aplicación de propuestas para resolver los problemas a los que nos enfrentamos.

En cuanto al aprendizaje-enseñanza de la evolución biológica la falta de estrategias de este tipo ha contribuido a la mala comprensión sobre este tema, ya que el trabajo cotidiano y tradicional no ha permitido el descubrimiento y propio desarrollo de los contenidos desde los estudiantes y

El nombre PISA corresponde con las siglas del programa según se enuncia en inglés: *Programme for International Student Assessment*, es decir, Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos. Se trata de un proyecto de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), cuyo objetivo es evaluar la formación de los alumnos cuando llegan al final de la etapa de enseñanza obligatoria, hacia los 15 años. Se trata de una población que se encuentra a punto de iniciar la educación media superior o que está a punto de integrarse a la vida laboral. Es muy importante destacar que el programa ha sido concebido como un recurso para ofrecer información abundante y detallada que permita a los países miembros adoptar las decisiones y políticas públicas necesarias para mejorar los niveles educativos.

La evaluación cubre las áreas de lectura, matemáticas y competencia científica. El énfasis de la evaluación está puesto en el dominio de los procesos, el entendimiento de los conceptos y la habilidad de actuar o funcionar en varias situaciones dentro de cada dominio.

El programa de evaluación internacional PISA fue desarrollado entre 1997 y 1999 y aplicado por primera vez en el año 2000 con la colaboración de 28 países miembros de la OCDE, entre ellos México (más cuatro países no miembros, dando un total de 32 países). (OCDE, 2009).
<http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/58/51/39>

para los estudiantes, ya que definitivamente la ciencia y la evolución como parte de ella no son temas que los jóvenes puedan comprender por sí solos, sino que necesitan la guía y acompañamiento de los docentes, pero desde un nuevo punto de vista que promueva en ellos aprendizajes significativos.

1.1 El Problema de la educación media superior en México

La educación media superior (EMS) en México se ubica en el nivel intermedio del sistema educativo nacional. Actualmente, existen tres tipos de programa de EMS: el bachillerato general, cuyo propósito principal es preparar a los alumnos para ingresar a instituciones de educación superior, el profesional técnico, que proporciona una formación para el trabajo, y el bivalente o bachillerato tecnológico, que es una combinación de ambas. Los bachilleratos general y tecnológico se imparten bajo las modalidades de enseñanza abierta y educación a distancia. Asimismo, la opción técnica ofrece la posibilidad de ingreso a la educación superior.

El nivel medio superior también ha sido tradicionalmente el de mayor reprobación y repetición, lo cual se refleja en la trayectoria posterior de sus egresados. Aún entre quienes logran graduarse, solamente 50 por ciento continúa con la educación superior.

En el año 2007, el nivel medio superior presentaba las mayores carencias como falta de oportunidades para los jóvenes y grandes desigualdades, así como de estrategias pedagógicas en todo el sistema educativo mexicano, con una tasa de deserción de cerca del cuarenta por ciento. De acuerdo con los propios jóvenes la causa principal por la que deciden dejar el bachillerato es que la escuela no les gusta, no les sirve o no se adecua a sus intereses y necesidades. Otro motivo importante es la falta de recursos económicos (Székely, 2009).

El número de jóvenes que conformaron el estudiantado de la educación media superior para el ciclo 2004-2005 fue de 3.6 millones de estudiantes (Tabla 1), cifra que representa un aumento de 96 veces en el tamaño de la población escolar para este tipo educativo en 1950, cuando este número alcanzada sólo a 37 mil jóvenes. Del total de ellos, poco más de 10% correspondió al nivel de

profesional técnico, 60% al bachillerato general y 29% al bachillerato tecnológico. Merced a estas cifras, la participación del grupo 16-18 años de edad alcanzó 53% (Arnaut y Silva, 2010).

Entre los años 1950 y 2000 los servicios educativos mexicanos generales experimentaron un crecimiento extraordinario, ocurre el incremento más dinámico entre 1950 y 1980 (Tabla 1) en ese medio siglo, la matrícula en la educación primaria se multiplicó por un factor de 4.9, la de la educación secundaria por 76, por 79 la educación media superior y por 68 la educación superior. Para los años ochenta, con medio siglo de retraso frente a lo ocurrido en los países avanzados, la educación primaria se convierte en un patrimonio efectivo de los niños mexicanos, al lograrse una tasa de escolaridad superior a 90% de todos los niños en edad de estudiarla.

Tabla 1. Matrícula total de la EMS en México, 1950-2000.

1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010
37 329	106 200	335 438	1 388 100	2 100 50	2 955 700	3 658 800	4 063 900

Tomada de Arnaut y Silva, 2010.

En una perspectiva histórica, el incremento de la matrícula y de las tasas de escolarización de los jóvenes y niños en edad de asistir a la escuela, se puede observar cuando la educación nacional muestra un brinco espectacular de 1.3 millones en 1930 a 31.5 millones en 2003.

De acuerdo con datos del Censo del año 2000, la población entre 16 y 19 años, que comprende a los jóvenes en edad de cursar la EMS, era de 7 millones 902 mil individuos. De ellos, 3 millones 866 mil eran hombres y 4 millones 36 mil eran mujeres, para ese mismo año, eran atendidos por el sistema de EMS 2 millones 955 mil jóvenes, de los cuales 49.4% eran hombres 50.6 mujeres. Esta cifra se modificó para el 2001, en el que la matrícula era de 3 millones de 120 mil jóvenes, de los cuales 49.1 eran hombres y 50.9 eran mujeres (tabla 2). Para el censo de 2010, la población de más de 12 años con estudios cursados en educación media superior fue de 15,139,875 personas (INEGI, 2011).

Tabla 2. Matrícula de la EMS por género (miles de alumnos) ciclos 1990-1991, 2000-2001 y 2002-2003. Tomado de Zorrilla 2008.

	1990-1991	2000-2001	20002-2003
Educación media superior	2 100.5	2 955.7	3 275.6
Hombres	1.084.8	1 460.6	1 603.3
Mujeres	1 015.7	1 495.1	1 672.3
Profesional técnico	378.9	361.5	373.6
Hombres	149.1	175.9	184.8
Mujeres	229.8	185.6	188.8
Bachillerato	1 721.6	2 594.2	2 902.0
Hombres	935.7	1 284.7	1 418.6
Mujeres	785.9	1 309.5	1 483.4

La eficiencia terminal de la educación media superior (tablas 3 y 4), en la actualidad es muy baja con respecto a los demás países miembros de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), alrededor de 59.8% para todo el tipo educativo, particularmente si se la compara con la de otros niveles y tipos educativos, ya que la primaria es de 86% y la secundaria de 76% y con las que se registran en el ámbito internacional (Zorrilla, 2008).

Tabla 3. Porcentaje de absorción, eficiencia terminal, reprobación y deserción en bachillerato en México, de 1994 a 2004. FUENTE: SEP. Dirección de Análisis. DGPPP. Sistema de Indicadores y Pronósticos Educativos, 2004. Tomado de: Serie Boletín de estadísticas continuas, demográficas y sociales. Estadísticas de educación ciclo escolar 2003-2004. Edición 2005.

Ciclo escolar	Absorción	Eficiencia terminal	Reprobación	Deserción
1994-1995	71.1	60.2	44.0	16.6
1995-1996	74.1	58.1	44.5	17.0
1996-1997	78.9	57.3	42.1	18.1
1997-1998	78.1	58.9	41.6	17.6
1998-1999	79.8	58.1	39.1	17.1
1999-2000	80.7	58.6	39.8	17.7
2000-2001	81.0	59.3	39.0	16.5
2001-2002	81.0	58.8	39.2	15.8
2002-2003	84.9	61.0	37.8	16.5
2003-2004	85.6	60.4	37.1	15.8
2004-2005	81.0	58.0	34.5	17.2
2005-2006	84.9	58.9	34.7	16.5

2006-2007	85.6	60.1	34.9	16.3
2007-2008	85.5	54.4	34.3	16.3
2008-2009	86.9	56.2	35.0	15.9
2009-2010	87.0	55.7	33.2	14.5
2010-2011	87.1	58.5	32.7	13.9

INEGI. Anexo estadístico del Quinto Informe de Gobierno del C. Presidente de la República Felipe Calderón Hinojosa, 2011.

Estas cifras nos revelan un inmenso problema: el sistema educativo es incapaz de incorporar a los jóvenes de manera suficiente, y una vez que están adentro es igualmente incapaz de retenerlos en las aulas. Por otro lado, la matrícula se distribuye de manera desigual entre las regiones del país, lo que ahonda la inequidad del servicio prestado. De acuerdo con cifras de la propia SEP (Secretaría de Educación Pública), para el ciclo escolar 2006-2007 (SEP, 2008) la cobertura de la educación media superior en el ámbito nacional era de 58.8%, lo que significa que prácticamente cuatro de cada diez jóvenes entre 16 y 18 años no asisten a la escuela de nivel medio superior. En el país, 16 estados atienden a un porcentaje todavía menor y las diferencias entre ellos son muy grandes. Michoacán apenas atiende a 45.9% del grupo de edad correspondiente, mientras que el Distrito Federal incorpora al 92.2%.

Tabla 4. Indicadores de la calidad de la educación media superior.

	1980-1981	1990-1991	2000-2001	2005-2006	2007-2008	2008-2009	2008-2009	2009-2010^e
Matrícula total	1 388 10	2 100 5	2 955 70	3 658 80	3 742 90	3 830 000	3 923 800	4 063 900
Porcentaje de atención a la demanda	25.7	36.0	47.6	58.6	59.	60.9	62.3	64.5
Profesional técnico	2.74	6.5	n.d.	5.8	5.	n.d.	5.9	6.1
Bachillerato	23.0	29.5	n.d.	52.8	54.	n.d.	56.4	58.4
Porcentaje de absorción								
Profesional técnico	9.16	14.4	12.3	10.4	10.	10.1	9.9	9.9
Bachillerato	8.8	61.0	81.0	84.9	n.d.	86.0	n.d.	86.9
Porcentaje de eficiencia terminal								
Profesional técnico	45.6	37.8	44.5	47.6	41.4	n.d.	46.0	48.8
Bachillerato	68.9	60.1	59.3	59.6	60.1	61.0	61.7	62.5
Índice de deserción en la EMS	14.8	18.8	n.d.	16.5	16.3	16.3	15.7	15.1

Índice de reprobación en la EMS	32.7	44.2	n.d.	34.7	n.d.	n.d.	33.3	32.2
--	------	------	------	------	------	------	------	------

Tomado de Arnaut y Silva, 2010

e= estimado

n.d. = no determinado

Nota: "atención a la demanda" se refiere a la relación porcentual entre la matrícula de inicio de cursos de un nivel educativo y la población que por grupo de edad está en posibilidad de solicitar la prestación de este servicio. También se le llama "cobertura".

La media nacional de absorción de los egresados de secundaria en la EMS es de 95.6%, porcentaje que 17 entidades federativas no alcanzan y la distancia entre el Distrito Federal, entidad con la más alta absorción (125.7%), y Zacatecas (79.6%), con la más baja, es muy grande.

La eficiencia terminal promedio (60%) no es alcanzada por 16 estados. La mayor diferencia está entre Colima, donde 67.4% de los jóvenes que inician la EMS la terminan en el tiempo estipulado, y Baja California Sur, que apenas alcanza 51.9%. La deserción en el nivel alcanza una media en el país de 15.5%, aunque hay 15 entidades que superan ese porcentaje. Las mayores diferencias se dan entre Nuevo León con 22.2% y Puebla con 11.7%. Además, las disparidades en el desarrollo regional profundizan las diferencias entre las escuelas ubicadas en centros urbanos y las de comunidades rurales (Arnaud y Silva, 2010).

Por lo anterior sabemos que los índices de cobertura y equidad son muy asimétricos y en la mayoría de los casos muy pobres, lo que refleja que en nuestro país no ha existido una política de Estado que reconozca a la educación como el eje del desarrollo ni ha otorgado al nivel medio superior y a los posteriores la importancia que merecen.

La formación de los docentes de la EMS es uno de los talones de Aquiles del subsistema. A principios de los años noventa, en el programa para la Modernización Educativa 1989-1994 (SEP, 1989:108-111) se señalaban la capacitación y actualización de los docentes como insuficientes. Hasta el momento es difícil hablar de las condiciones de trabajo de los profesores de la EMS pues cada coordinación o institución que los alberga tiene la capacidad de poner sus propias reglas para el ingreso, permanencia, actualización, promoción, etc. Tampoco hay estudios que den cuenta sobre quiénes son los profesores de la EMS y qué formación tienen. Es una tarea pendiente para la investigación educativa.

A pesar de esos problemas, es claro que ha habido un avance importante en todo el país, tanto en la ampliación de la matrícula, que sigue creciendo, como en la relación con otros indicadores de rendimiento de la educación media superior: la matrícula en el servicio público de la EMS continúa expandiéndose y hay una atención a la demanda más amplia.

En síntesis, hasta ahora, la educación media superior no ha sido capaz de plantear respuestas a la demanda masiva y heterogénea de los jóvenes que la solicitan y tampoco ha resuelto sus problemas de calidad, relevancia y pertinencia. No obstante, el nivel medio superior sí ha cambiado: de estar orientado a la pequeña élite socioeconómica en la segunda mitad del siglo XIX, actualmente atiende a jóvenes de una gran diversidad social y económica, a pesar de los esfuerzos del sistema educativo y del Estado por diversificar e innovar en este nivel, los resultados más bien muestran un desarrollo no planeado, resultado de la demanda social creciente y de las políticas orientadas a aumentar la escolaridad de la población, en consecuencia, ese crecimiento no estuvo acompañado de políticas para mejorar la eficiencia terminal del nivel ni la calidad de la educación. La atención de este nivel está segmentada; la fragmentación curricular que obedece a una malentendida especialización técnica, pretende pasar, a un sistema nacional de bachillerato que daría a este nivel de estudios una identidad común, respetando la diversidad; de la ausencia de docentes profesionales, hoy día se están implementando programas de formación para docentes y directivos, a partir de un programa nacional de acreditación que nunca antes se había intentado (Arnaut y Silva, 2010).

1.2 La educación media superior en ciencias

El programa de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para la Evaluación Internacional de Estudiantes, examina qué tan bien están preparando los distintos sistemas de educación internacionales a sus jóvenes para el mundo actual. En la economía globalizada altamente competitiva de hoy, una educación de calidad es de los activos más valiosos que una sociedad y un individuo pueden tener. Las habilidades son factores clave para el desarrollo personal, mejores niveles de vida, productividad y crecimiento económico. La ausencia de políticas de educación eficaces e innovadoras ha resultado en enormes perjuicios a los individuos como una educación defectuosa, exclusiva y sistemas que resultan en la disminución de los estándares, y el desempleo, así como una economía con iguales deficiencias. Es por eso que la educación desempeña

un papel central para la OCDE. Actualmente se registran cambios dramáticos en el desempeño de los estudiantes a nivel mundial que obligan a los países a evaluar el progreso educativo de sus jóvenes en un contexto global. Países como China o India están mostrando capacidades de alto nivel a un costo muy moderado y con un ritmo cada vez más creciente. Otros países, incluidos los países desarrollados que son miembros de la OCDE, no pueden ignorar esas presiones de competitividad, ya que haciendo caso omiso de de esa competencia dañarían su bienestar a futuro.

En la evaluación PISA de 2006, que tuvo énfasis en ciencias, participaron 57 países, a diferencia de los 41 que participaron en 2003 y los 28 del año 2000, lo que cubre cerca del 90% de la economía mundial. PISA muestra a los países que se destacan en términos de los conocimientos científicos y habilidades en jóvenes de 15 años. Pero PISA también deja ver que todos los sistemas de educación pueden alcanzar calidad, equidad y eficiencia. En los resultados PISA también se pueden identificar algunos de los instrumentos de política para mejorar la educación.

PISA 2006 muestra que países como Finlandia, Canadá, Australia y Corea tienen los mejores desempeños, así como las mejores oportunidades, ya que ofrecen a sus estudiantes aprendizaje de calidad y equidad, en donde todos los jóvenes sin importar su nivel socioeconómico, tienen la oportunidad de desarrollar todo su potencial y aprovecharlo para mejorar la calidad de vida de todos. Estos resultados llaman la atención de otros países que están interesados en lograr lo que estos países han logrado. PISA también compara los puntos fuertes y debilidades entre los países participantes.

Los estudiantes mexicanos se destacan en algunas cuestiones científicas como identificar temas científicos, ya que logran identificar las características clave de una investigación científica. Sin embargo, no pueden recurrir a evidencias científicas definitivas y tienen dificultades para analizar los datos y experimentos, lo que muestra que los estudiantes aprenden sólo para memorizar y reproducir conocimientos, lo que los deja mal preparados para el mercado de trabajo del mañana. El éxito de países como Finlandia, Nueva Zelanda, Australia y Canadá, pueden proporcionar puntos útiles de la oferta de mejores prácticas educativas. Las habilidades en ciencia y tecnología son especialmente importantes en países con gran desarrollo tecnológico, de los países que participan en la OCDE. El 9% de esos estudiantes llegan a los niveles más altos en la escala de PISA, que son de

niveles 5 y 6. En México, solo el 3% de los estudiantes alcanzaron estos niveles y muy pocos estudiantes alcanzaron el nivel que demuestra que pueden identificar, explicar y aplicar conocimiento científico a una variedad de situaciones complejas de la vida diaria. La educación en ciencias también debe proporcionar a los ciudadanos la posibilidad de participar plenamente en la sociedad y en el mercado de trabajo, lo cual requiere de competencias científicas de al menos nivel 2 de PISA, igualmente competencias como recordar conceptos científicos y usar los resultados de un experimento científico que estén representados en una tabla o gráfica.

La mayoría de los países tienen un rendimiento bajo, ya que los estudiantes se desempeñan debajo del nivel 2 de PISA. En México, 1 de cada 2 estudiantes de quince años, no alcanza el nivel 2. Se ha demostrado que los costos de los pobres niveles de educación son cada vez más altos, por lo tanto el bajo rendimiento de los estudiantes en nuestro país merece una atención continua. PISA 2006, examinó también las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia, lo cual es importante para competir con éxito en un mundo globalizado, y de lo cual depende la capacidad de los países de innovar, esto requiere mayor investigación e infraestructura científica, así como la capacidad de atraer personas calificadas en las profesiones relacionadas con la ciencia.

Los gobiernos tendrían que asegurar el amplio apoyo a la labor científica y la oportunidad de todos a este tipo de actividad. La ciencia y la tecnología han permitido cambios notables en los últimos cien años, pero frente a estos retos los países deberán realizar grandes inversiones en infraestructura científica y así garantizar el derecho de todos los ciudadanos a utilizar la ciencia en relación con sus vidas.

Los estudiantes de quince años en México reportan un nivel alto de apreciación a la ciencia, de hecho uno de los más altos entre los países de la OCDE. El treinta y cinco por ciento de los estudiantes mexicanos mencionó que espera desarrollarse en una carrera relacionada con las ciencias, uno de los niveles más elevado en la OCDE (25% media de la OCDE). Por último, pero no menos importante, el mexicano de 15 años de edad, se encuentra entre los más confiados en sus habilidades en ciencias, sin embargo cuando se trata de la ciencia y el medio ambiente, el nivel de conciencia de los problemas ambientales resultó ser inferior a la media de la OCDE, lo cual demuestra que tienen un nivel bajo de consciencia en cuanto estos temas y que muchos de ellos no

se preocupan por el medio ambiente. Se muestran optimistas, aunque no creen que se logren abordar problemas ambientales con éxito al corto plazo. Cuanto menos se sabe sobre ciencia se es más optimista acerca del trato de los problemas ambientales a corto plazo.

Otra dimensión importante presentada en los estudios de la OCDE son las diferencias que se presentan entre los géneros, por ejemplo, los resultados de PISA 2006 muestran que en 22 de los 30 países integrantes de la OCDE, hombres y mujeres se desempeñan igualmente bien en la ciencia. En nuestro país se reporta que tanto hombres como mujeres participan en actividades científicas en un grado mucho mayor que el promedio de la OCDE, pero las mujeres participan menos en dichas actividades, aunque el rendimiento de las estudiantes mexicanas en pruebas académicas no difirió mucho del de los hombres.

Los resultados de PISA muestran una cierta correlación en cuanto a que para aumentar el rendimiento escolar hace falta también un mejor nivel económico, ya que países como Finlandia, Nueva Zelanda, Corea o Japón muestran una relación directa entre la inversión realizada y el desempeño de los estudiantes. Sin embargo, esta relación es muy compleja, ya que otros países como EU y Noruega no realizan mucho gasto en educación, y sus resultados se mantuvieron estables del año 2000 al 2006, mostrando que el dinero es importante, aunque no suficiente para lograr un éxito educativo, maestros de calidad y un adecuado suministro de recursos educativos se asocian con mejores resultados de aprendizaje. Pero lo más importante es que hay una serie de políticas y prácticas escolares que son cruciales para lograr el rendimiento sin estar necesariamente vinculada a los recursos. Los más destacados son tres de ellos:

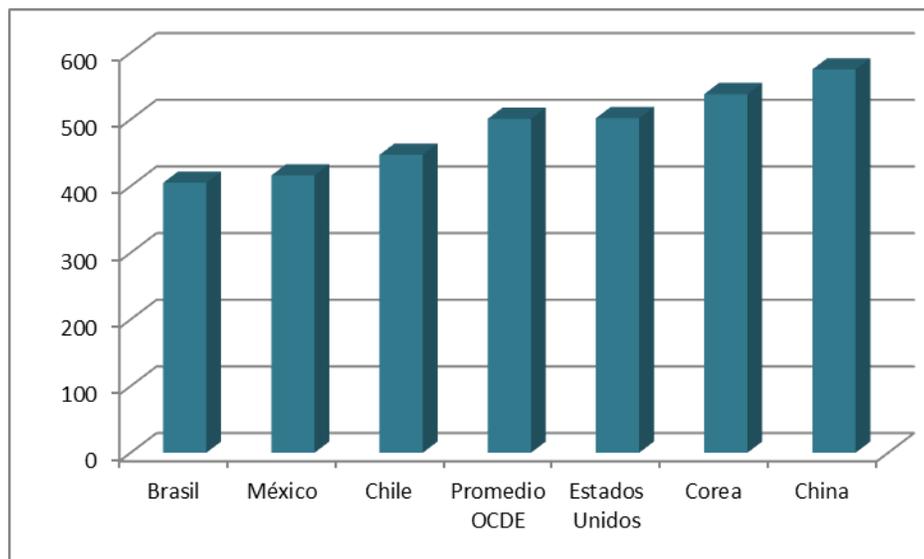
- a) Diferenciación institucional, sin afectar la calidad de la educación.
- b) Autonomía, para permitir que las escuelas decidan sobre las asignaciones dentro de la escuela tiende a ir de la mano con un mejor rendimiento.
- c) Responsabilidad, una más clara rendición de cuentas.

PISA nos indica que los factores más importantes para el éxito no son los que están directamente relacionados con los recursos materiales limitados, como es la distribución de buenos docentes, más bien, lo que importa es cómo las escuelas y los sistemas escolares son dirigidos, por ejemplo, la

cantidad de tiempo que los alumnos pasan en clase y el grado en que las escuelas dan cuenta de sus resultados (PISA, 2006 nota informativa para México).

De acuerdo con PISA 2009, los estudiantes con la media de desempeño más alto en la escala global de ciencias fueron los de Shanghái-China, seguidos de los de Finlandia y Hong Kong-China. De los 165 países participantes, 14 tienen una media estadísticamente inferior a la de México (418 puntos), 49 una media estadísticamente superior, y sólo Jordania una media estadísticamente similar. Dentro de Latinoamérica en ciencias, México tiene una media de desempeño superior a la del promedio de América Latina (AL), Chile y Uruguay superan la media de desempeño de México (447 y 427 respectivamente, contra 416 de México); en tanto que las medias de desempeño de Brasil, Colombia, Argentina, Panamá y Perú son estadísticamente inferiores a la de México. A diferencia de 2006 en donde Finlandia, Hong Kong-China y Canadá están en los 3 primeros lugares. México alcanzó una media de 410 puntos (Gráfica 1).

Gráfica 1. Medias de desempeño en ciencias en países seleccionados (puntaje) PISA 2009.



Fuente PISA 2009.

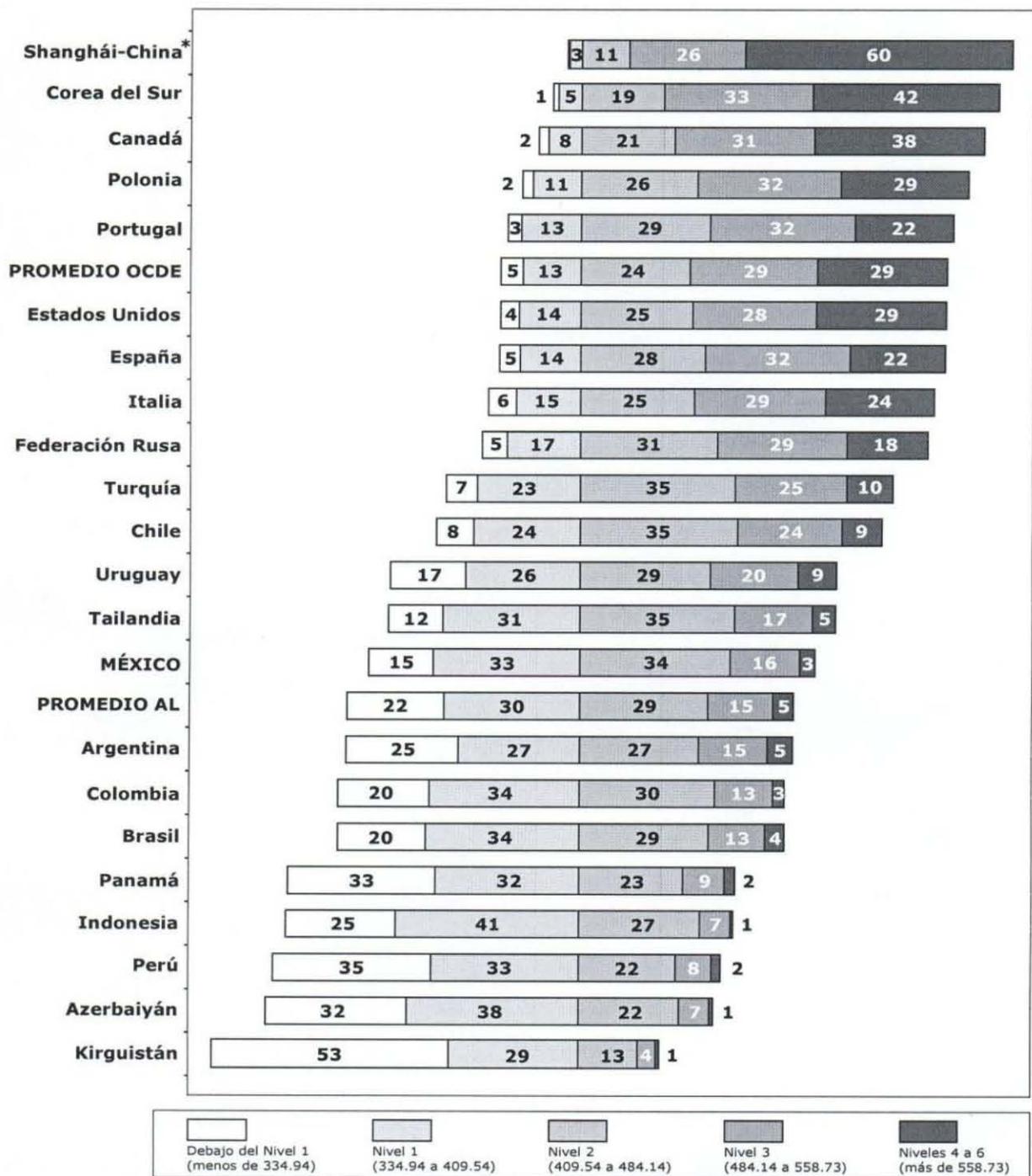
En 2006 en México el 18% de los estudiantes se ubicó por debajo del nivel 1 (consultar niveles de desempeño en PISA página 19 de este trabajo); 33% en el nivel 1, 31% en el nivel 2; 15% en el nivel 3 y sólo 3% en el nivel 4 o más. Para 2009 en nuestro país el 3% está en los niveles 4 a 6, en

los niveles 2 y 3 tiene un 50% de los estudiantes y en niveles inferiores (nivel 1 y debajo de 1) concentra el 48% de sus estudiantes (Gráfica 2, tabla 5).

El nivel de competencia científica es un indicador importante, no para determinar una relación con la cantidad de personal científico que habrá en el futuro, sino con la capacidad de los ciudadanos para participar plenamente en la sociedad, y en particular, en el mercado laboral.

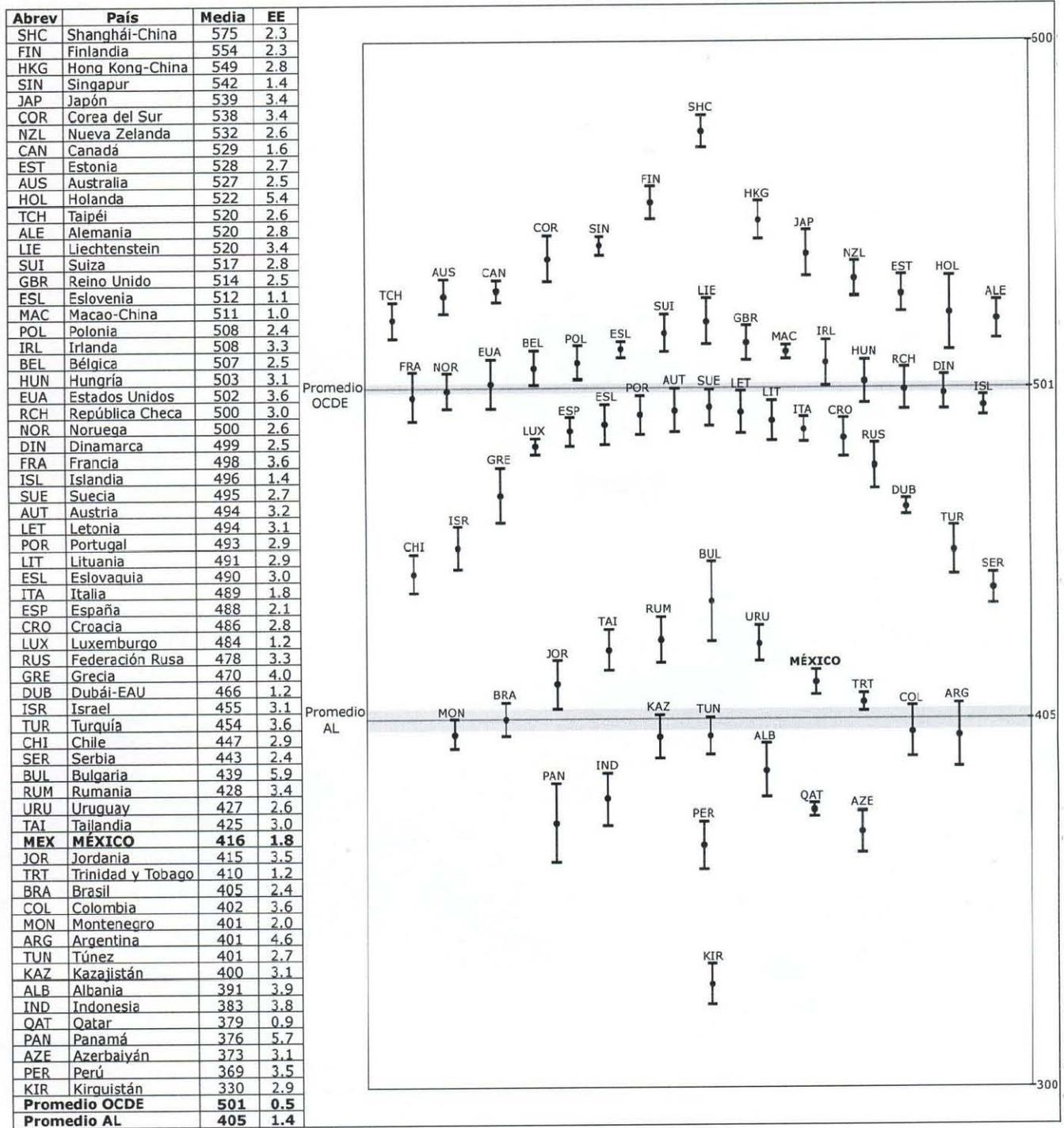
A nivel nacional de acuerdo a PISA 2006, el porcentaje de estudiantes por nivel de desempeño en la escala global de ciencias permite apreciar que en todas las entidades más del 60% de los estudiantes se encuentran en los niveles 1 y 2 a excepción de Querétaro, Distrito Federal y Aguascalientes, cuyos porcentajes son un poco menores, sin embargo, estas entidades concentran cerca del 30% de sus estudiantes en el nivel 3. En Puebla, Sinaloa, Oaxaca, Tabasco y Guerrero, más del 10% de los estudiantes carece de las habilidades necesarias para alcanzar el nivel 1; en el resto de los estados el porcentaje en el nivel cero no rebasa el 10%. Querétaro, Colima, Distrito Federal, Morelos y Guanajuato tienen al menos 9% de sus estudiantes en los niveles 4 a 6.

Gráfica 2. Porcentaje de estudiantes ubicados en niveles de desempeño en ciencias.



Tomada de PISA2009.

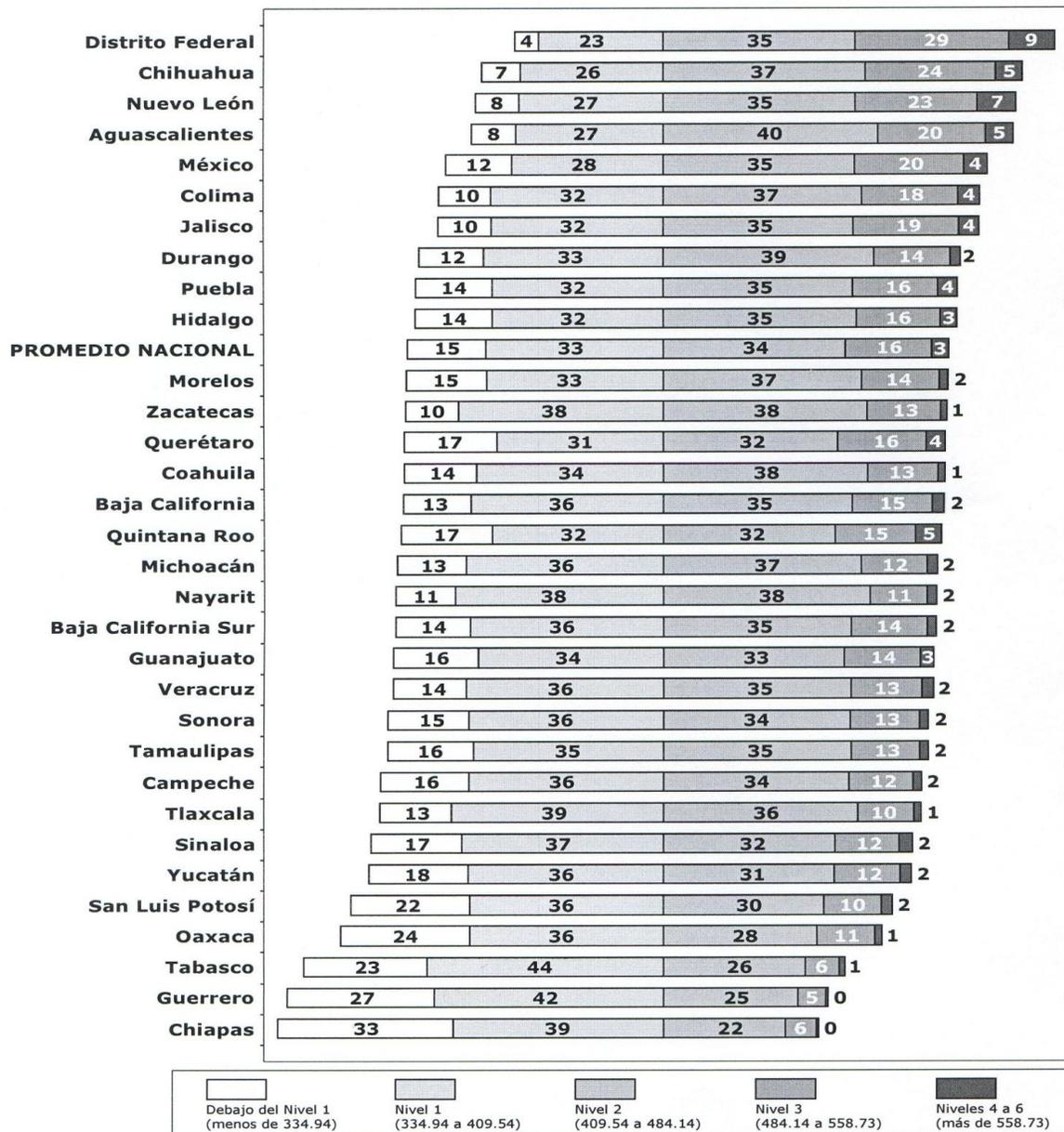
Gráfica 3. Medias de desempeño en ciencias para los países participantes



Tomado de PISA 2009.

En 2009 la entidad con el mayor porcentaje de alumnos en los niveles 4 a 6 es el Distrito Federal (9%), seguida por Nuevo León (7%) (Gráfica 3). Éstas representan un porcentaje muy superior al promedio nacional (3%). Otras entidades con el 5% de estudiantes en los niveles 4 a 6 son Chihuahua, Aguascalientes y Quintana Roo.

Gráfica 4. Porcentaje de estudiantes ubicados en niveles de desempeño en ciencias, comparativo para entidades en nuestro país.



PISA 2009.

Desafortunadamente el 72% de los estudiantes de Chiapas se encuentran en niveles 1 y debajo de este nivel, estos estudiantes por lo tanto, no muestran las competencias en ciencias que pueden permitirles participar activamente en situaciones de la vida real relacionadas con la ciencia y la tecnología.

Guerrero, Tabasco y Oaxaca concentran, respectivamente, 69%, 67% y 60% de sus estudiantes en niveles 1 y bajo 1, junto con Chiapas siguen siendo las entidades de nuestro país con niveles más bajos.

Las cifras anteriores nos permiten considerar que al igual que para el país en su conjunto y en tres escalas globales que mide PISA, las entidades federativas registran proporciones muy bajas de estudiantes en los niveles altos de desempeño, lo que deja ver un problema grave en cuanto a la preparación de los estudiantes para el futuro cercano (PISA, 2009). Por lo tanto no hemos logrado ni la cobertura, ni la calidad, ni la equidad requeridas para preparar ciudadanos con capacidades para enfrentar los retos de una sociedad que requiere soluciones a todo tipo de problemáticas.

1.2.1 Alfabetización científica

Para PISA la competencia científica o alfabetización científica es la capacidad de un individuo que posee conocimiento científico y lo usa para adquirir nuevos conocimientos, identificar temas científicos, explicar científicamente fenómenos y obtener conclusiones basadas en evidencias, con el fin de comprender y tomar decisiones relacionadas con el mundo natural y con los cambios producidos por la actividad humana. También, incluye la capacidad para comprender las principales características de la ciencia, entendida ésta como una forma de conocimiento y de investigación humana; para percibir el modo en que la ciencia y la tecnología conforman el entorno material, intelectual y cultural; y la disposición para involucrarse en asuntos relacionados con la ciencia y con las ideas de la ciencia, como un ciudadano reflexivo (PISA 2006 en México).

En PISA el concepto de competencia científica tiene cuatro dimensiones: el contenido, los procesos, la situación y las actitudes. La dimensión denominada contenido se refiere al tipo de conocimiento científico. Éste se clasifica en conocimiento de la ciencia (conocimiento del mundo natural) y

conocimiento sobre la ciencia, el cual abarca dos categorías de contenido: investigación científica y explicaciones científicas.

Los procesos se definen en tres competencias en donde los estudiantes deben demostrar su dominio: identificar temas científicos, aplicar el conocimiento de la ciencia al describir o interpretar fenómenos y predecir cambios y el uso de evidencias científicas para realizar afirmaciones o extraer conclusiones (PISA 2006 en México).

El documento *National Science Education Standards* (1996) señala: *En un mundo repleto de productos de investigación científica, la alfabetización científica se ha convertido en una necesidad para todos: todos necesitamos utilizar la información científica para realizar opciones que se plantean cada día; todos necesitamos ser capaces de involucrarnos en discusiones públicas acerca de asuntos importantes que se relacionan con la ciencia la tecnología; y todos merecemos compartir la emoción y la realización personal que puede producir la comprensión del mundo natural.* La competencia científica no se reduce al conocimiento de vocabulario científico, ni al manejo de fórmulas químicas, ni al acopio de conceptos de la Física y la Biología. La competencia o alfabetización científica va también más allá de la preparación de futuros científicos ya que, como afirma Bybee (1997), ésta debe concebirse como un continuo que puede desarrollarse a lo largo de la vida de cada persona (y que por supuesto, unos desarrollarán más que otros), se puede valorar positivamente la orientación multidimensional de la educación científica para todos, incluidos los propios científicos (PISA 2006 en México).

Se considera que los estudiantes de ciencias deben ser capaces de criticar teorías y las hipótesis a la luz de la metodología científica y sus conceptos, con el fin de minimizar sus propios conceptos erróneos con respecto a ella y para hacer viable el proceso de aprendizaje de contenido científico. Se debe presentar a la ciencia como un proceso dinámico hacia el conocimiento, y, en consecuencia, como una práctica transitoria que está profundamente fundada en el conocimiento previo y métodos delimitados (Villani, 2001; Laburú *et al*, 2003; Calor y Morphy, 2004).

1.2.2 La educación en ciencias

La naturaleza de la ciencia es un concepto multifacético que desafía una simple definición. Incluye aspectos de la historia, la sociología y la filosofía de la ciencia, y ha sido también mencionada como epistemología de la ciencia. Tal vez la mejor manera de entender la naturaleza de la ciencia es pensar primero en la alfabetización científica. Randy L. Bell describe la alfabetización científica como la habilidad para entender los medios de comunicación de la ciencia y la capacidad de reconocer y apreciar las contribuciones de la ciencia, así como ser capaz de usar la ciencia en la toma de decisiones en problemas socio-científicos.

Las actuales reformas en la educación científica en otros países como Estados Unidos enfatizan la enseñanza de la ciencia para todos, con el objetivo final de desarrollar la alfabetización científica. Desde este punto de vista, la enseñanza de las ciencias debe ir más allá de la simple enseñanza de la ciencia como un cuerpo de conocimientos. Los docentes de hoy involucran a los estudiantes hacia una visión más amplia de la ciencia que se refiere al desarrollo del conocimiento científico y la naturaleza misma del propio conocimiento. Los profesores de ciencias participan cada vez más en la enseñanza sobre la naturaleza de la ciencia, sin embargo, décadas de investigación han demostrado que los docentes y los estudiantes aún no disponen totalmente de la comprensión de la naturaleza de la ciencia (Lederman, 2007). Esta falta de comprensión afecta negativamente la enseñanza sobre la ciencia y lo que aprenden los estudiantes. Con frecuencia, la ciencia se enseña como una materia con poca conexión con el mundo real. Los estudiantes aún ven a los científicos como una adhesión estricta a “El método científico” y al hacerlo a la producción del “verdadero” conocimiento que no se empaña por las limitantes humanas. En esta caricatura de la ciencia, las hipótesis son conjeturas, teorías que aún no han sido probadas, y las leyes son absolutas e infalibles. No es de extrañar que muchos estudiantes no vean ninguna conexión entre lo que aprenden en clase de ciencias y lo que saben acerca del mundo real, en donde abundan las controversias científicas y los científicos están a menudo en desacuerdo sobre los resultados de sus investigaciones.

Las ideas y procedimientos científicos son refinados en escuelas de secundaria y preparatoria. Aunque en biología, muchos profesores en las escuelas primarias y secundarias no son conscientes de los criterios usados en la evaluación de hipótesis científicas y la exposición de las teorías generales se reduce a algo semejante a un discurso superficial e inexacto, esto sucede también en la

enseñanza de la física, la química y otras ciencias. Esto genera un sentido acrítico y poco claro de la enseñanza de las ciencias (Martin, 1976).

Para alcanzar estos objetivos, los profesores al practicar el razonamiento científico y abordar el currículo escolar desde una perspectiva filogenética pueden obtener un resultado muy diferente del tratamiento de estos contenidos a como se realiza en la mayor parte de los libros de texto tradicionales. Esta forma diferente de enseñanza es importante ya que existe una necesidad real de una formación continua para los educadores, haciendo hincapié en la teoría de la evolución y los debates en torno a sus fundamentos. Así tendremos profesores que preparen cursos de ciencias y formen estudiantes con habilidades en el pensamiento crítico y metodología científica, que por desgracia no es una práctica generalizada en las clases de ciencia, incluso entre los científicos no es reconocido el potencial de la ciencia en este ámbito.

En las aulas las teorías científicas o las leyes se aprenden sin su contexto, incluso en textos científicos, las teorías se estudian desde un punto observacional y base empírica, y no deberían considerarse como abstracciones sin evidencias (Kuhn, 1962), que es como ocurre a menudo en las clases de ciencias, sobre todo en primaria y las escuelas secundarias. La aplicación de la filogenética de la biología la educación contempla la participación activa de los estudiantes en la construcción de conocimiento y no la simple reconstrucción personal de los contenidos previamente elaborados del conocimiento, que siempre son platicados por el profesor o por el libro de texto "(Gil-Pérez *et al.*, 2002:561).

Los currículos habituales para la enseñanza de las ciencias en la escuela se han centrado sobre todo en los contenidos conceptuales y se han regido por la lógica interna de la ciencia, pero han olvidado formar sobre la ciencia misma, es decir, sobre qué es la ciencia, cómo funciona internamente, cómo se desarrolla, cómo construye su conocimiento, cómo se relaciona con la sociedad, qué valores utilizan los científicos en su trabajo profesional, etc. Todos estos aspectos constituyen lo que se conoce como naturaleza de la ciencia (NC). En consecuencia, la imagen de la ciencia transmitida por la enseñanza tradicional es obsoleta y deformada, pues corresponde a la de un conocimiento acabado, definitivo y, por ello, autoritario, dogmático e incontestable (Fernández *et al.*, 2003). Por otro lado, la ciencia escolar transmite una imagen de la ciencia del pasado, la que produjo los

conceptos incluidos en el currículo, pero no de la ciencia –y sobre todo de la tecnociencia– contemporánea, la que se hace hoy en día en los laboratorios de diversas instituciones (universidades, hospitales, fundaciones, ejército, etc.) y empresas privadas (industrias, corporaciones farmacéuticas, etc.). Para superar estos graves inconvenientes en la actualidad hay un consenso creciente que propone incluir explícitamente en los currículos escolares una enseñanza sobre la ciencia misma, es decir, de la NC. Ésta se considera una parte esencial de la educación científica y debería ser irrenunciable y sustantiva en cualquier curso de ciencias (Fuller, 1997; Irwin, 1995; Jenkins, 1997; McComas, Clough y Almazroa, 1998; Millar, 1996; Ziman, 2000) (Vázquez y Manssero, 2004).

1.2.2.1 Ámbitos y aspectos de la ciencia importantes para la alfabetización científica

Se encuentran identificados tres ámbitos de la ciencia que son fundamentales para el desarrollo de la alfabetización científica. El primero de ellos es el más conocido y concreto, e incluye los hechos científicos, conceptos, teorías y leyes que por lo general se presentan en los libros de ciencia. El segundo dominio incluye la gran variedad de métodos que los científicos utilizan para generar los conocimientos contenidos en el primer dominio, la naturaleza de la ciencia constituye el tercer dominio y es el más abstracto y menos conocido de los tres. A menudo el segundo dominio es poco abordado en los contenidos curriculares y si se hace es a menudo malinterpretado pues se hace referencia a un único “método científico” y a la idea de que las teorías científicas pueden ser promovidas a leyes (Abd-El-Khalick, Waters, Phong, 2008; Bell, 2004).

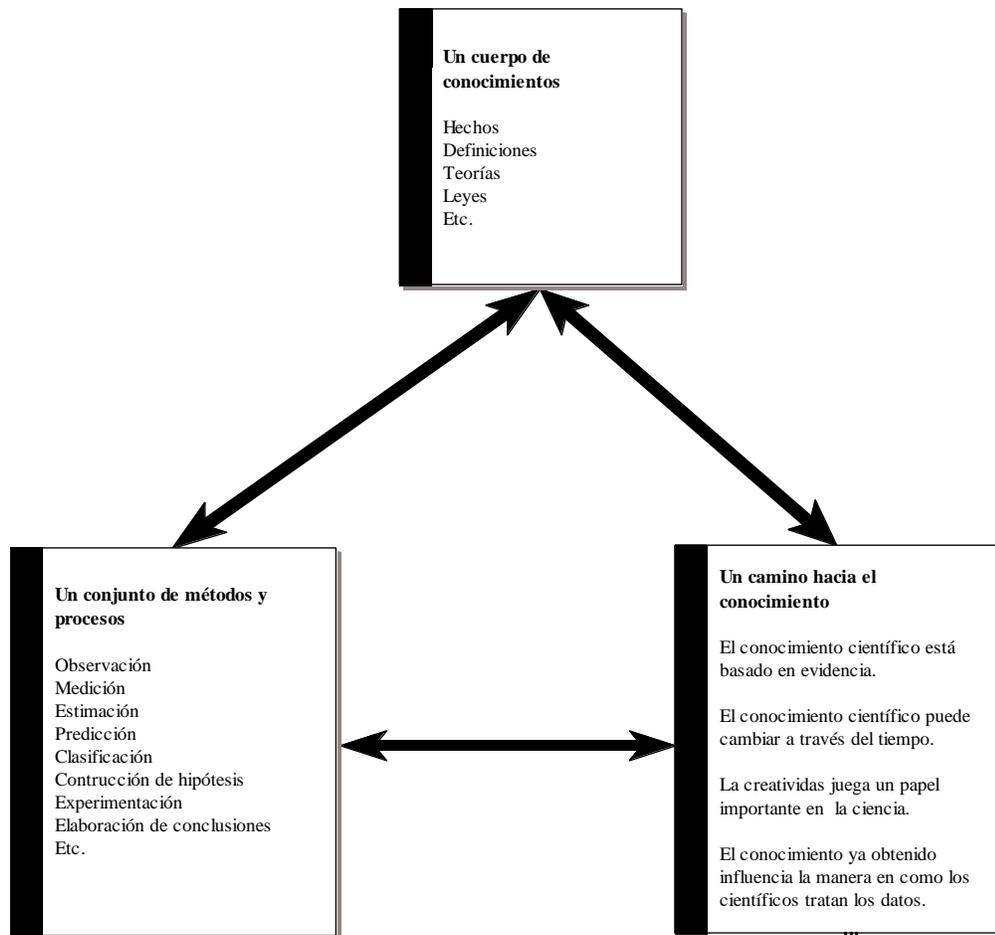


Figura 1. Los tres dominios de la ciencia. Bell, 2004)

A continuación se mencionan un conjunto de ideas claves que se consideran las más útiles y prácticas a desarrollar en el entorno escolar para desarrollar la alfabetización científica (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz, 2002, Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duscl, 2003):

1. Provisionalidad. Todo el conocimiento científico está sujeto a cambio a la luz de nuevas pruebas y nuevas formas de pensar, incluso las leyes científicas cambian. Las nuevas ideas en la ciencia a menudo son recibidas con cierto escepticismo, sobre todo si son contrarias a los conceptos ya establecidos. Por otro lado, el conocimiento científico, una vez que es aceptado puede ser robusto y duradero. Muchas de las ideas de la ciencia han sobrevivido frente a los desafíos y se han mantenido prácticamente sin cambios.

2. La evidencia empírica. El conocimiento científico depende en gran medida de la evidencia empírica. Empírica se refiere tanto a datos cuantitativos y a datos cualitativos. Mientras que algunos

conceptos científicos son muy teóricos al derivarse principalmente de la lógica y el razonamiento, en última instancia, todas las ideas científicas deben ajustarse a datos de observación o experimentación para ser considerados válidos.

3. Observación y deducción. La ciencia consiste en más que la acumulación de un sinnúmero de observaciones, más bien se deriva de una combinación de observación y deducción. La observación se refiere al uso de los cinco sentidos para reunir información, a menudo aumentada con la tecnología. Inferencia implica el desarrollo de las explicaciones de las observaciones y, a menudo involucra a entidades que no son directamente observables.

4. Leyes y teorías científicas. En la ciencia, una ley es una sucinta descripción de las relaciones o patrones en la naturaleza. Las leyes se expresan a menudo en términos matemáticos. Una teoría científica es un buen apoyo de la explicación de los fenómenos naturales. Por lo tanto, las teorías y las leyes constituyen dos tipos distintos de conocimiento. Uno nunca puede cambiar el otro. Por otro lado, son similares en que ambos tienen pruebas que apoyan y son ampliamente aceptadas por los científicos. Aunque siempre pueden cambiar a la luz de nuevas pruebas.

5. Los métodos científicos. No hay un único método científico universal. Los científicos emplean una amplia variedad de enfoques para generar conocimiento científico incluyendo la observación, inferencia, la experimentación e incluso descubrimiento casual.

6. La creatividad. La creatividad es una fuente de innovación e inspiración en la ciencia. Los científicos utilizan la creatividad y la imaginación a lo largo de sus investigaciones.

7. Objetividad y subjetividad. Los científicos tienden a ser escépticos y aplicar mecanismos de autocontrol como revisión entre pares con el fin de mejorar la objetividad. Por otro lado, la intuición, las creencias personales y de la sociedad juegan un papel importante en el desarrollo del conocimiento científico.

De este modo, la subjetividad no puede ni debe ser completamente eliminada de la empresa científica. Los conceptos antes mencionados pueden parecer desconectados en un primer momento, sin embargo, un examen más detallado revela que todos ellos caen bajo el paraguas de la

provisionalidad ya que no hay ideas en la ciencia que estén tan privilegiadas como para no ser sujetas a revisión o del rechazo a la luz de nuevas pruebas y nuevas maneras de pensar acerca de las pruebas existentes. Los puntos del 1 al 7 en conjunto muestran la razón de por qué el conocimiento científico es provisional. La ausencia de absolutos en la ciencia no debe ser vista como una debilidad, por el contrario, el carácter provisional de la ciencia es en realidad una de sus mayores fortalezas para avanzar.

Matthews (1997) justifica la enseñanza acerca de la naturaleza de la ciencia argumentando que la naturaleza de la ciencia es inherente a muchos asuntos críticos en la educación científica. Estos incluyen la evolución y el debate del creacionismo, la relación entre la ciencia y la religión, y la delimitación de las fronteras entre la ciencia y no ciencia. Otros (Lederman, 1999; Meyling, 1997) han relacionado la enseñanza sobre la naturaleza de la ciencia a los estudiantes con el desarrollo de los impactos de la ciencia en la sociedad. Quizás la justificación más básica de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia es que simplemente ayuda a los estudiantes a desarrollar una visión más correcta de lo que es la ciencia, incluyendo los tipos de preguntas a las que la ciencia puede responder y cómo se diferencia la ciencia de otras disciplinas, así como las fortalezas y limitaciones de la investigación y del conocimiento científico.

En el presente trabajo se pretende usar estas consideraciones a favor de que los estudiantes mediante la formación y la comparación de sus hipótesis realizadas de acuerdo a la fiabilidad de sus observaciones, los cladogramas resultantes sean las hipótesis a interpretar y discutir para mostrar esta parte de la naturaleza cambiante y flexible de la ciencia.

1.2.2.2 Estándares en ciencias

Los estándares son criterios claros y públicos que establecen lo que deben aprender los estudiantes de todas las escuelas y colegios en las distintas regiones, para gozar una educación de calidad. Son una guía de lo que ellos pueden ser capaces de saber y saber hacer con lo que aprenden en todas las áreas, a medida que avanzan en su educación, por eso los estándares de competencias son referentes necesarios de los que los estudiantes deben saber hacer para ser personas y ciudadanos competentes. Al establecer lo que se debe saber y saber hacer en las distintas áreas y niveles, los estándares se constituyen en herramienta privilegiada para que cada institución pueda reflexionar en torno a su

trabajo, evaluar su desempeño, promover prácticas pedagógicas creativas que incentiven el aprendizaje de sus de mejoramiento que permitan, no solo alcanzarlos, sino superarlos (Ministerio de Educación Nacional, Colombia, 2006 www.seduca.gov.co/index.php/component/.../doc.../1240-doc3.html).

Puesto que el aprendizaje de las ciencias es algo que los estudiantes no pueden realizar solos, sino que el docente debe hacer junto con ellos y para ellos. En el aprendizaje de las ciencias es importante que los estudiantes describan objetos y eventos, que realicen preguntas, construyan explicaciones acerca de diversos fenómenos naturales, comprueben esas explicaciones de muchas maneras diferentes y comuniquen sus ideas a los demás. Es importante señalar que en nuestro país no existen estándares educativos como tales, quizás lo que más se acerca son las llamadas competencias educativas.

En la educación en ciencias el término “proceso activo” implica la actividad física y mental, los estudiantes no solo deben estar dispuestos a participar en las actividades con las manos, sino también con la mente, la enseñanza de las ciencias debe involucrar a los estudiantes en investigaciones orientadas en las que interactúen con sus maestros y compañeros, los estudiantes deben establecer conexiones ente sus actuales conocimientos de la ciencia y el conocimiento científico encontrado en diversas fuentes, deben aplicar los contenidos científicos a nuevas preguntas y participar en la solución de diversos problemas, en la planificación y toma de decisiones, así como de las discusiones en grupo.

Esta forma de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, significa cambiar el papel que ha venido realizando el docente en su forma de presentar los contenidos, un nuevo modelo de enseñanza también necesita de nuevas formas de evaluación que sea consistente con este nuevo modelo.

Otro estándar de la educación en ciencias implica la adquisición del conocimiento científico y el desarrollo de la comprensión. El conocimiento científico se refiere a hechos, conceptos, principios, leyes, teorías y modelos que puede ser adquirida de diversas formas; pero la comprensión de la ciencias requiere que el individuo integre una compleja estructura de muchos tipos de conocimientos, incluyendo las ideas de la ciencia, las relaciones entre diversas ideas, y usar esas

ideas para explicar y predecir otros fenómenos naturales y aplicar esos conocimientos a otros eventos. En entendimiento o comprensión incluye la capacidad de distinguir entre lo que es y lo que no es ciencia. Desarrollar la comprensión presupone que los estudiantes se comprometen con las propuestas de la ciencia y está dispuesto a tener diversas experiencias relacionadas con el mundo natural.

Los docentes deben estar dispuestos a usar diferentes estrategias para desarrollar el conocimiento, la comprensión y las habilidades descritas por los estándares en ciencias. El docente debe saber que la realización de prácticas y actividades en ciencias no garantiza el aprendizaje ni la comprensión y que una sola estrategia de enseñanza no es una buena alternativa para las experiencias de aprendizaje.

Lo planteado en estos estándares proporciona criterios para mejorar la enseñanza, los docentes para lograr esto deben trabajar dentro de un contexto colegial, organizativo y político que apoye la buena enseñanza de la ciencia, el estudiante mismo debe aceptar y compartir la responsabilidad de su propio aprendizaje.

Los estándares para la enseñanza de la ciencia están basados en seis supuestos:

- La visión educativa propuesta en los estándares requiere de grandes cambios en todo el sistema educativo.
- Lo que los estudiantes aprenden depende en gran medida de la forma en que se les enseña.
- Las acciones de los maestros son profundamente influidas por su percepción de la ciencia.
- El conocimiento es un proceso activo y se construye de manera individual a partir de los procesos sociales.

1.2.2.3 Estándares en evolución biológica

Hay dos razones principales por las que la evolución biológica es obligatoria en las normas de educación de la ciencia. En primer lugar, es la teoría fundamental y unificadora que subyace en todas las ciencias de la vida. Se ha formado con base en investigación activa y productiva por más de 140 años y se sigue haciendo. Esto es por qué la evolución es aceptada universalmente entre los investigadores de la biología profesional.

La segunda razón es que los estándares de la educación científica hacen hincapié en el aprendizaje del proceso de investigación científica y la indagación científica particular. El primer paso en este proceso es desarrollar preguntas verificables que pueden ser respondidas por la investigación científica. Estas preguntas son guiadas por las teorías científicas y las respuestas siguen mostrando el valor de la evolución biológica como una teoría para la formación de preguntas útiles, dentro de un marco de investigación responsable. En otros países de América como Estados Unidos, Chile y Colombia existen estándares específicos para evolución biológica, los que se mencionan a continuación son ejemplos de ellos.

Las especies evolucionan con el tiempo. La evolución es la consecuencia de las interacciones entre:

- El potencial de una especie para aumentar su número, (2) la variabilidad genética de la descendencia debido a la mutación y la recombinación de genes, (3) un suministro limitado de los recursos necesarios para la vida, y (4) la posterior selección por el medio ambiente de los descendientes más capaces de sobrevivir y dejar descendencia.
- La gran diversidad de organismos es el resultado de más de 3,5 millones de años de evolución que ha llenado todos los nichos disponibles con las distintas formas de vida.
- La selección natural y sus consecuencias evolutivas proveen una explicación científica para el registro fósil y las formas de vida más antiguas, así como para las similitudes moleculares encontradas entre las diversas especies de organismos. Los millones de especies diferentes de plantas, animales y microorganismos que hoy en día viven en la Tierra están relacionados por descendencia a partir de ancestros comunes.
- Las clasificaciones biológicas se basan en cómo los organismos se relacionan. Las clasificaciones se hacen en grupos y subgrupos sobre la base de las similitudes que reflejan las relaciones evolutivas.

En conclusión las acciones de los docentes están profundamente influenciadas por las relaciones que establecen con los estudiantes, los docentes tienen sus propias creencias implícitas y explícitas sobre la ciencia, la enseñanza y el aprendizaje. Los docentes pueden servir de guía eficaz en el aprendizaje de la ciencia solo si tienen la oportunidad de examinar sus propias creencias y desarrollar una comprensión de los principios en los que los estándares se basan (*National Science Education Standards*, 1998).

En este capítulo se han ofrecido diversas estimaciones acerca de la cantidad de jóvenes a los que se atiende en la EMS, para el ciclo escolar 2012-2013 se estima que se habrá de brindar atención a casi 5 millones de jóvenes, que representan la demanda potencial actual de este tipo educativo. En una perspectiva de más largo alcance, las estimaciones habrán de incluir a todos los jóvenes de entre 15 y 17 años que terminan la educación secundaria, cantidad que presumiblemente se incrementará conforme se mejore la eficacia de la educación básica, lo cierto es que mientras no se logre la universalización de esta última, la cobertura de la EMS permanecerá acotada.

En paralelo se ha brindado información de acuerdo con evaluaciones internacionales que confirma la aguda situación de baja calidad en la educación que se ofrece en las aulas de nuestro país en cuanto a ciencias.

CAPÍTULO 2

La evolución como pilar de la enseñanza de la biología evolutiva en el bachillerato

2.1 La evolución biológica

La evolución biológica, en pocas palabras, es la descendencia con modificación. Esta definición abarca la evolución a pequeña escala (cambios en la frecuencia de alelos en una población de una generación a la siguiente) y en gran escala (el descenso de las diferentes especies de un ancestro común a través de muchas generaciones). La evolución biológica no es simplemente una cuestión de cambiar con el tiempo, muchas situaciones cambian, pero no implican descendencia a través de la herencia genética. La idea central de la evolución biológica es que la vida en la Tierra comparte un ancestro común. A través del proceso de descendencia con modificación, el antepasado común de la vida en la Tierra dio lugar a la enorme diversidad que vemos documentada en el registro fósil y alrededor de nosotros hoy en día. <http://www.sesbe.org/evosite/evo101/Intro.shtml.html>

El introductor de palabra “*evolución*” en la ciencia fue Charles Bonnet, en su teoría preformacionista del desarrollo embrionario, pero la biología del desarrollo ya no utiliza la palabra en ese sentido. También se ha utilizado la palabra “*evolución*” para tres conceptos de la historia de la vida sobre la Tierra, y aún se la sigue utilizando para uno de ellos.

El término *evolución transmutativa* (o transmutacionismo) se aplica a la aparición repentina de un nuevo tipo de individuo, debido a una mutación importante o saltación. Dicho individuo se convierte en progenitor de una nueva especie, formada por sus descendientes. Las ideas saltacionistas habían estado presentes desde los griegos hasta Maupertuis, aunque no en el contexto de la evolución.

Incluso después de la publicación de *El origen de las especies* (1859), de Darwin, muchos evolucionistas que se resistían a aceptar el concepto de selección natural adoptaron teorías saltacionistas.

En cambio, el término *evolución transformativa* se refiere al cambio gradual de un objeto; por ejemplo, el desarrollo de un huevo fecundado hasta transformarse en adulto. Todas las estrellas experimentan una evolución transformativa, de amarilla a roja. En el mundo inanimado, casi todo cambia: el alzamiento de una cordillera debido a las fuerzas tectónicas y su posterior destrucción por la erosión son fenómenos de este tipo, siempre que tengan una dirección. En cuanto al mundo inanimado, la teoría evolutiva de Lamarck, que precedió a la de Darwin, era transformativa. Según Lamarck, la evolución consiste en el origen por generación espontánea de un organismo nuevo y simple, un infusorio, y su gradual transformación en una especie superior y más perfecta. La teoría lamarckiana de la evolución transformativa, presentada en su *Philosophie zoologique* (1809), tuvo mucha aceptación en su momento pero fue desplazada en casi todo el mundo por la teoría de Darwin.

La *evolución variativa* es el concepto representado por la teoría darwinista de la evolución por selección natural. Según esta teoría, en cada generación se produce una enorme cantidad de variación genética, pero entre los numerosísimos descendientes, sólo unos pocos sobrevivientes logran reproducirse. Los individuos mejor adaptados al ambiente tienen más posibilidades de sobrevivir y engendrar la siguiente generación. Debido a: 1) la constante selección (o sobrevivencia diferencial) de los genotipos más capaces de adaptarse a los cambios de ambiente; 2) la competencia entre los nuevos genotipos de la población; y 3) los procesos estocásticos (al azar) que afectan a las frecuencias génicas, la composición de cada población va cambiando continuamente, y a este cambio se le llama evolución. Dado que todos los cambios tienen lugar en poblaciones formadas por individuos genéticamente únicos, la evolución es necesariamente gradual y continua, y las poblaciones se van reestructurando genéticamente.

En sus primeros escritos, Darwin ya era perfectamente consciente de la existencia de dos dimensiones evolutivas: el tiempo y el espacio. La transformación en el tiempo (*evolución filética*) consiste en cambios adaptativos, como la adquisición de nuevas características por una especie. Pero

este concepto no puede explicar por sí solo la extraordinaria diversificación de la vida orgánica, porque no permite que aumente el número de especies. La transformación en el espacio (especiación y multiplicación de linajes) consiste en la formación de múltiples poblaciones nuevas, fuera del territorio de la población parental, y su transformación en nuevas especies y, con el tiempo, en taxones superiores. A esta multiplicación de las especies se le llama especiación (Mayr, 2005).

2.1.2 Filogenia y árboles filogenéticos

Una filogenia o árbol evolutivo (Figura 1), representa las relaciones evolutivas entre un conjunto o grupo de entidades. Dado que estas relaciones solo pueden ser verdaderamente conocidas en circunstancias excepcionales, el principal objetivo de la reconstrucción filogenética es describir las relaciones evolutivas en términos de un ancestro común, estas relaciones se representan como un diagrama de ramificaciones o árbol con ramas unidas por nodos y que lleva a las terminales como si fueran las puntas de las ramas del árbol. Las puntas de los árboles representan a los grupos de descendientes y los nodos en el árbol representan los antepasados comunes de los descendientes. Dos descendientes que se separaron del mismo nodo se llaman grupos hermanos. En el árbol de abajo, la especie A y B son grupos hermanos son más relacionados entre sí porque comparten el ancestro común más cercano. Muchos árboles también incluyen un grupo externo un taxón fuera del grupo de interés. Todos los miembros del grupo de interés están más estrechamente relacionados entre sí que con el grupo externo. Por lo tanto, el grupo externo se deriva desde la base del árbol (Harrison y Langdale, 2006).

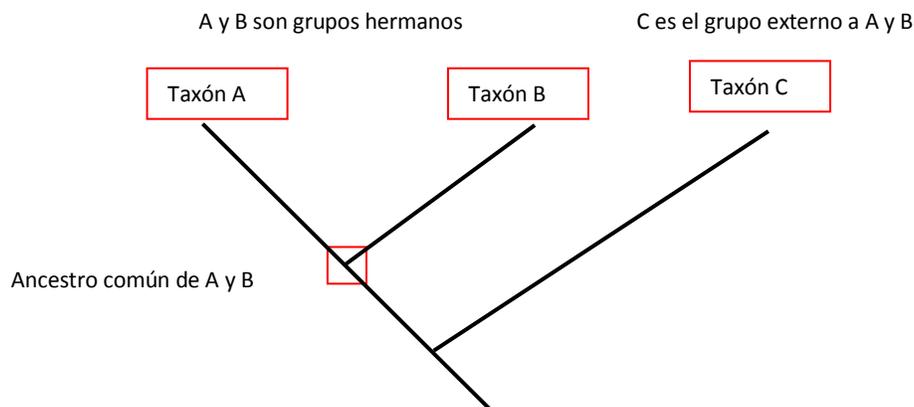


Figura 2. Árbol evolutivo.

Así los árboles filogenéticos ofrecen representaciones visuales de las posibles relaciones históricas entre las especies. La raíz de un árbol evolutivo muestra el origen del linaje y la combinación de ramas, nudos y separaciones ilustran el concepto de Darwin acerca de la descendencia con modificación y las posibles relaciones entre los organismos (Burks y Boles, 2007).

2.2 Trascendencia de la Teoría de la Evolución

Uno de los grandes esfuerzos de los científicos de todos los tiempos ha sido el ayudar a comprender la idea de que todos los organismos en la Tierra, incluyendo a las especies extintas, son productos de la descendencia con modificación desde ancestros comunes. Esta es la pretensión central del trabajo teórico de Charles Darwin (1858,1859) y Alfred Wallace (1858). La teoría evolutiva ha sido la respuesta a preguntas que han preocupado durante siglos a la humanidad como ¿Cuál es el origen de las semejanzas entre los seres vivos? ¿Cómo se explica la semejanza entre algunas especies como el zorro, perro y lobo sin recurrir a explicaciones sobrenaturales y no comprobables? La teoría de la evolución hizo hincapié en que los organismos somos el resultado de procesos materialistas que actúan desde los albores de la vida en el planeta. No hay fijismo en la naturaleza, en ella todo evoluciona. Desde mediados del siglo XIX, la evolución ha sido la influencia dominante en las ciencias biológicas (Morphy y Calor, 2008).

La evolución biológica puede explicar tres de las características más fundamentales del mundo que nos rodea: las similitudes entre los seres vivos, la diversidad de la vida, y muchas características del mundo físico en donde habitamos. Las explicaciones de estos fenómenos en términos de evolución se basan en los resultados de física, química, geología, muchas áreas de la biología y otras ciencias. Por lo tanto, la evolución es el principio central de organización que los biólogos usan para entender el mundo. NAS (National Academy of Science) (Teaching About Evolution and the Nature of Science, 1998).

Enseñar biología sin usar estrategias para la comprensión de la evolución priva a los estudiantes de un concepto de gran alcance que trae gran orden y coherencia a nuestra comprensión de la vida. La enseñanza de la evolución también tiene gran valor práctico para los estudiantes. Directa o indirectamente, la biología evolutiva ha realizado diversas contribuciones a la sociedad. La

evolución explica por qué muchos patógenos humanos resisten a medicamentos antiguamente eficaces y sugiere formas de enfrentar este problema. La biología evolutiva ha contribuido a numerosos e importantes avances agrícolas explicando las relaciones entre las plantas silvestres y domesticadas y entre los animales y sus enemigos naturales. La comprensión de la evolución ha sido esencial en la búsqueda y utilización de los recursos naturales, tales como los combustibles fósiles, y será imprescindible al buscar nuevas formas de como las sociedades humanas se puedan establecer relaciones sostenibles con el entorno natural y el medio ambiente.

Estos ejemplos se pueden multiplicar muchas veces, la investigación evolutiva es uno de los campos más activos de la biología de hoy, y se producen descubrimientos con importantes aplicaciones prácticas de forma regular. Hoy en día, no hay debate en el seno de la comunidad científica sobre si la evolución ocurre, existen pruebas de que efectivamente ocurrió y sigue ocurriendo, aunque algunos detalles de cómo ocurre la evolución siguen siendo investigados. Sin embargo los científicos debaten acerca de los mecanismos concretos que resultan en la evolución y no la exactitud de la evolución como explicación de la historia de la vida.

La enseñanza acerca de la evolución tiene otra función importante: debido a que algunas personas incluso en nuestro país, ven a la evolución en conflicto con las creencias religiosas, la enseñanza de la evolución ofrece a los educadores una oportunidad excelente para estudiar la naturaleza de la ciencia y diferenciar a la ciencia de otras formas de actividad humana

Es importante entender cómo el significado de ciertas palabras clave en la ciencia difiere de la forma en que esas palabras son utilizadas en la vida cotidiana. Por ejemplo, de cómo la gente por lo general usa la palabra "teoría". Alguien podría referirse a una idea y luego añadir: "Pero eso es sólo una teoría". O alguien puede hacer cierto comentario diciendo: "Mi teoría es. . . ". Al igual que en el uso común, la teoría a menudo significa "adivinar" o "corazonada". En la ciencia, la palabra "teoría" significa algo muy distinto. Se refiere a una explicación general de que ha sido bien fundamentada. La ciencia tiene muchas otras teorías de gran alcance, además de la evolución. La teoría celular, que postula que todos los seres vivos están compuestos de células. La teoría heliocéntrica que dice que la Tierra gira alrededor del Sol y no viceversa. Tales conceptos son compatibles con tan abundante evidencia observacional y experimental que ya no están siendo

cuestionadas en la ciencia. A veces, los propios científicos utilizan la palabra "teoría" en términos generales para aplicarla a explicaciones que no tienen aún pruebas bien fundamentadas, pero es importante distinguir estos usos informales de la palabra teoría con su uso para describir conceptos tales como la evolución que son apoyados por abrumadoras pruebas NAS (National Academy of Science) (Teaching About Evolution and the Nature of Science, 1998).

Como se había mencionado antes, la teoría de la evolución es el actual paradigma unificador de las ciencias biológicas, y el programa de investigación con el mayor poder explicativo a lo largo de las disciplinas biológicas (Futuyma, 1999; Mayr, 2000; Gould, 2002; Larson, 2006). De hecho, la revolución llevada a cabo por Darwin y Wallace dominó considerable más allá disciplinas biológicas y ha influido en el pensamiento humano en una gran cantidad de áreas, desde la biología hasta la filosofía de la ciencia, proporcionando una forma materialista de explicar el mundo en que vivimos sin ningún tipo de explicación sobrenatural. Citando a Mayr (2000), "Casi todos los componentes en el sistema de creencias del hombre moderno son de alguna manera afectados por los principios de Darwin".

2.3 Importancia de la enseñanza de la Teoría de la evolución en la materia de Biología

Se considera la teoría de la evolución como el pilar fundamental de la biología moderna, y, por tanto, para utilizarlo como el tema de organización en la enseñanza de la biología. Además, la evolución lleva a la escuela una perspectiva más amplia sobre los fenómenos naturales y la naturaleza de la actividad científica (Tidon y Lewontin, 2004). Por otro lado, a pesar de su importancia como una teoría integradora que relaciona la biología con otras áreas del conocimiento, el contenido de la evolución en biología se presenta a los estudiantes en tan sólo unas pocas sesiones de clase, por lo general durante el último año de los cursos de biología. La evolución es tratada como un tema independiente en el currículo científico de la mayoría de las escuelas, completamente desconectado de otras disciplinas biológicas. Algunos libros de texto llevan la teoría de la evolución en un solo capítulo, sin considerar siquiera el papel del proceso materialista de la evolución en el modelado del mundo natural.

Un número significativo de trabajos muestra que existe una gran dificultad para que los estudiantes logren comprender los planteamientos centrales de la evolución. Las investigaciones realizadas sobre este punto manifiestan la existencia de numerosas concepciones acerca del proceso evolutivo que no son válidas desde el punto de vista científico y, aún en estudiantes universitarios persisten después la instrucción formal en el tema. Algunos estudios indican que los estudiantes encuentran que la evolución es un concepto difícil y pocos son capaces de aplicar los conceptos en situaciones comunes (Hernández y Ruiz, 2000).

La situación comentada se presenta en las escuelas latinoamericanas por ejemplo en Brasil (Bizzo, 1994), pero la situación no es muy diferente en América del Norte o de otras escuelas públicas de todo el mundo (Scott, 1997; Lerner, 2000; Antolín y Herbers, 2001; Chinsamy y Plagányi, 2008). El hecho es que el enfoque tradicional adoptado ampliamente en la educación, se convierte en algo especialmente dañino para la comprensión de la evolución porque la teoría se retira de su contexto natural en sentido amplio (Alles, 2001). En general, lo que se mantiene en la mente de los estudiantes son algunas ideas vagas sobre las teorías de Lamarck y Darwin, y algunos ejemplos simplificados que vulgarizan la exactitud de las explicaciones científicas. La división de la biología en un subconjunto de disciplinas desconectadas es una abstracción perjudicial para la enseñanza de la biología y trae muchos prejuicios al aprendizaje. Los resultados del aprendizaje deficiente se deben a la permanencia y la difusión de un grandes problemas acerca de la evolución y temas correlacionados (ver Aleijandre, 1994; Settlege, 1994; Zuzovsky, 1994; Demastes *et al*, 1995, 1996; Jensen y Finley, 1996; Ferrari y Chi, 1998; Thomas, 2000; Anderson *et al*, 2002; y Passmore y Stewart, 2002). Conceptos tales como dimensión temporal y sus consecuencias para la evolución son interpretados de manera incorrecta, así como las relaciones genealógicas entre los hombres y otros animales, de si los humanos se originaron a través de procesos puramente naturales de otras formas de vida, y la diferencia entre los cambios evolutivos, novedades evolutivas y el progreso. Esta lista se ejecuta en paralelo con varias distorsiones realizadas por el público en general por ejemplo, los medios de comunicación y comentaristas no profesionales que hacen eco en la enseñanza y el aprendizaje, realizando así un ciclo interminable de malas interpretaciones.

A pesar del hecho de que un tratamiento insuficiente se le ha dado a la teoría de la evolución en muchas instituciones de educación básica, media superior y superior, las dificultades, sin embargo,

no son exclusivas a ningún país, en la gran mayoría de los currículos de educación media superior, no sólo en México, sino también en muchos otros países se indica claramente que los contenidos biológicos deben ser tratados como temas trans-disciplinarios basados en las explicaciones ecológicas y evolutivas como una guía teórica que se supone que debe seguir, en biología las necesidades de la dimensión histórico-filosófica propuesta por un sentido amplio el darwinismo y sus conexiones a la ecología y otras áreas biológicas (Morphy y Calor, 2008). En tal sentido, el enfoque filogenético propuesto en este trabajo es ventajoso, ya que considera cada uno y todos los aspectos de la educación en biología en vista de que la descendencia con modificación es el concepto unificador de la ciencias de la vida.

El lenguaje es uno de los grandes problemas de la enseñanza de la biología (Rieppel, 2005). Nuestro vocabulario es a menudo limitado y construido bajo un marco no-evolucionista, lo que genera una gran cantidad de dificultades en la comunicación de las relaciones evolutivas (por ejemplo, las alas de pájaros, las alas de los insectos, y las alas del avión la misma palabra se usa para describir las estructuras similares que tienen diferentes orígenes evolutivos, o incluso ningún origen evolutivo en absoluto). Asimismo, se señala que algunas frases que utilizan los profesores de enseñanza media contribuyen a desarrollar en los estudiantes una confusa explicación del proceso evolutivo (por ejemplo, que el cambio es por necesidad). Según Brumby (1984), existen tres errores particularmente significativos:

- La mayoría de los estudiantes hablan de un “proceso de mutación” (que significa un cambio permanente en una característica), lo cual supone que todas las mutaciones son causadas por cambios en el medio; en ello está ausente la idea de que las poblaciones contienen variación individual que aparece por mutaciones espontáneas.
- La adaptación es descrita como un proceso positivo (aclimatación), en lugar de ser vista como el resultado final de la selección del mejor adaptado.
- Los estudiantes no toman en cuenta el significado de las escalas de tiempo en la evolución, ellos extrapolan la idea de cambios que ocurren en la vida de los organismos para explicar los cambios ocurridos en las poblaciones en muchas generaciones.

Diversos estudios señalan que una de las principales ideas de los alumnos respecto a la evolución de las especies encontrada en casi todos los niveles educativos, es que atribuyen frecuentemente este proceso a la intención deliberada de los organismos, que cambian por necesidad o para mejorar. Otros aspectos importantes se refieren a la falta de claridad respecto al origen y mantenimiento de las variaciones que aparecen en los seres vivos; las dificultades para comprender ideas como la adaptación, que es vista como aclimatación, o problemas para comprender las diferentes escalas de tiempo (Brumby, 1979,1984; Greene, 1990; Bishop y Anderson, 1985; Settlage, 1994; Settlage *et al.*, 1996; Trowbridge y Wandersee, 1994; Zuzovsky, 1994).

Como se ha señalado, los patrones de malas interpretaciones son esencialmente similares a la interpretación lamarckiana de la evolución; algunos autores plantean que tales patrones actúan como barrera en el aprendizaje formal de la teoría.

Ante estas dificultades se han generado discusiones sobre cuándo y cómo deben enseñarse los conceptos y teorías evolutivas. Se plantea, por ejemplo, que es más conveniente introducir estos temas en el nivel medio superior, debido a que hasta entonces los estudiantes tienen el desarrollo cognitivo adecuado para asimilar una teoría tan abstracta y compleja como la evolutiva. Sin embargo, otros autores, están a favor de que en lugar de postergar el tema es necesario mejorar las estrategias didácticas para impartirlos más satisfactoriamente, es decir, que el problema no radica en la capacidad de los estudiantes de entender la teoría, sino en las estrategias utilizadas para enseñarla (Hernández y Ruiz, 2000).

Morphy y Calor mencionan en su trabajo desarrollado en 2008 el cual tuvo como objetivo destacar el potencial de la sistemática filogenética como una herramienta para introducir conceptos evolutivos en las clases de biología que el concepto de homología para este enfoque es muy importante, ya que una vez que el concepto de homología es bien entendido, el segundo paso es introducir un enfoque con razonamiento jerárquico, ya que representar un árbol evolutivo por sí solo no es suficiente, se necesita un razonamiento genealógico para comprender plenamente la evolución. Los autores consideran que en este punto se puede echar mano de los conocimientos previos de los estudiantes acerca de sus relaciones familiares lo que puede ser usado para ilustrar el significado de la genealogía. Con ello conceptos como ancestro común, ancestría-descendencia, grupo hermano,

variación, herencia, descendencia con modificación se pueden discutir y afirmar , ya que todo mundo sabe que los hijos no son exactamente iguales a sus padres, tienen diferencias de altura, color de ojos, pelo, etc. aunque también tienen similitudes que identifican las relaciones ancestro-descendiente. También existe el hecho de que dos hermanos suelen ser más estrechamente parecidos entre sí que con una tercera persona como un primo o un vecino, ya que comparten antepasados inmediatos que no son comunes a sus primos o vecinos.

Los mismos autores mencionan que ésta lógica en el razonamiento es útil para comprender la jerarquía y la estructura del mundo natural, pero cuando se trata de diversidad biológica y de la historia de linajes biológicos, difícilmente se pueden observar la coexistencia de formas ancestrales y sus descendientes, ya que la escala temporal relacionada con el origen y la diversificación de las especies es más amplia que el de la historia familiar. En este sentido y extrapolando la genealogía para el estudio de la evolución y asociando el concepto de homología el profesor puede explicar por ejemplo porque un gato y un león son más estrechamente relacionados entre sí, que con un caballo o un pez.

Como se había mencionado anteriormente, una forma de representar las jerarquías de homologías es un cladograma. En cladogramas, el mundo natural entero podría ser descrito como proveniente del proceso de descendencia con modificación a través del tiempo. Todos los aspectos bioquímicos de la vida (por ejemplo, la evolución de la fermentación, la respiración celular y los procesos de la fotosíntesis), todas las características morfológicas y fisiológicas de animales y plantas, cada detalle en los organismos , en definitiva, todos los aspectos del mundo vivo se pueden trazar en términos de ramificación, que resume los patrones de distribución de un cierto carácter. En las palabras de Hennig (1966), "Hacer de la sistemática filogenética el sistema de referencia general a la inestimable ventaja de que todas las relaciones que se puedan concebir entre los sistemas biológicos pueden ser más fácilmente representados a través de él. Esto se debe a la evolución histórica de organismos necesariamente y debe reflejarse de alguna manera en todas las relaciones entre los organismos. En consecuencia, las relaciones directas se extienden desde el sistema filogenético a todos los sistemas posibles, mientras que con frecuencia no hay relación directa entre estos tales otros sistemas".

El cladograma o árbol filogenético es también en el presente trabajo un modelo que sirve como herramienta para el establecimiento de un punto de vista jerárquico de la naturaleza, pero sobre todo orientado a que a través de su correcta interpretación los jóvenes de bachillerato puedan establecer además de jerarquías, relaciones evolutivas entre un grupo de individuos de acuerdo a los datos obtenidos con anterioridad. Morphy y Calor señalan que para la introducción de este enfoque en clases de biología es el profesor quién debe estar muy bien orientado en el pensamiento de árboles evolutivos antes y durante las clases y ayudar a los estudiantes de biología para visualizar los patrones jerárquicos en la luz de un punto de vista evolutivo.

No obstante la utilidad que presenta tener un "pensamiento tipo árbol" entre los profesionales y los biólogos evolutivos, tal concepto no es tan amplia difusión como debería ser en la enseñanza de evolución (Baum *et al.*, 2005). Entre los jóvenes estudiantes de ciencias es un hecho que el árbol de la vida no es conocido (Doolittle, 1999), a pesar de los continuos intentos para resolver las relaciones evolutivas entre diferentes tipos de organismos.

Morphy y Calor mencionan que debe ponerse especial atención a los cladogramas que sean utilizados en el aula, ya que deben respetar y ajustarse las necesidades pedagógicas de los profesores, las hipótesis filogenéticas no requieren necesariamente una gran cantidad de grupos biológicos para mostrar las relaciones entre ellos. Es preferible usar solo los grupos más representativos con el fin de evitar que los estudiantes (e incluso los educadores) pierdan el objetivo principal de la clase en una confusión innecesaria con demasiados grupos y nombres y una complejidad sobrada.

Los informes presentados en este capítulo muestran que las concepciones alternativas en cuanto a contenidos de biología evolutiva son dificultades epistemológicas que requieren cambios conceptuales y referenciales, pero también son indiscutibles las deficiencias en el contenido disciplinario y discurso de los profesores. Se requiere replantear los conceptos principales que estructuran la disciplina y a la par construir estrategias didácticas que nos ayuden a obtener resultados educativos satisfactorios en relación con los contenidos de biología evolutiva que impacten positivamente a los estudiantes en su vida cotidiana y en su participación social.

En los estudiantes debe fomentarse una actitud creativa que les permita analizar y criticar los conocimientos que adquieren en la escuela, ya que solo cuando los estudiantes comprenden que los conceptos y las teorías no son algo acabado, sino como el resultado de un proceso en el que intervienen diversos factores como los científicos y sociales, pueden captar el carácter histórico social de dicho conocimiento (Hernández *et al.*, 2009).

CAPÍTULO 3

Propuesta

La secuencia didáctica que se presenta tiene como objetivo mejorar la comprensión de la evolución biológica de los estudiantes de bachillerato a través de una estrategia que involucra la reconstrucción de relaciones evolutivas (filogenias), para apoyar la enseñanza-aprendizaje de este importante e incomprendido tema, lo cual ha sido una debilidad en la enseñanza de la biología. La secuencia comienza con el planteamiento de preguntas sobre relaciones evolutivas existentes entre ocho animales. La secuencia didáctica incluye la discusión y el análisis de características tanto morfológicas como moleculares y la construcción de hipótesis que son representadas por árboles evolutivos.

La secuencia completa se dividió en tres actividades en donde los estudiantes inicialmente tienen la oportunidad de comparar y analizar características morfológicas en animales. Se parte de un grupo de características que pueden diferenciar a los organismos y terminar haciendo distinciones específicas tanto a nivel morfológico como usando ARN, se determina un conjunto de características para diferenciar a los miembros de un grupo de organismos de otro. Posteriormente se da la oportunidad de que los estudiantes trabajen con datos moleculares disponibles de manera libre en internet y que usen dos programas de computadora fáciles de usar y visualmente atractivos, ClustalX y MEGA 4.0, los cuales son en realidad software profesional que se usa a diario en los laboratorios de investigación en todo el mundo (Tamura *et al.*, 2007). Por último, los estudiantes son invitados a comunicar sus propios resultados, a evaluar las hipótesis que se formulan, y a llegar a conclusiones para responder la pregunta inicial sobre relaciones evolutivas.

3.1 Fundamentos de la propuesta

El aprendizaje significativo de las ciencias es una tarea con un índice de fracaso elevado, esta es una afirmación que difícilmente puede sorprender a los investigadores y profesores de ciencias. Sin embargo, las causas de dicho fracaso todavía son objeto de un apasionado debate. Probablemente las causas sean múltiples y resulte complicado abordarlas todas a la vez, como un todo. Parte de la responsabilidad del fracaso está en los alumnos, parte en los profesores y, seguramente, otra parte esté en el contexto escolar y en la propia sociedad. Estos elementos conforman una especie de «conspiración cognitiva» contra el trabajo del profesor de ciencias y constituyen obstáculos formidables que dificultan enormemente el aprendizaje significativo de las ciencias por parte de los alumnos. Durante muchos años los profesores han desempeñado su trabajo como si la mente de sus alumnos fuesen receptáculos vacíos en los que había que colocar el conocimiento. La metáfora del profesor como un transmisor del conocimiento o del aprendizaje, como un proceso de llenado de un recipiente o de escritura en una pizarra vacía, reflejan claramente estos puntos de vista hoy casi completamente abandonados en didáctica de las ciencias. Los alumnos aprendían más o menos dependiendo de su capacidad y el aprendizaje se concebía, fundamentalmente, como un proceso de adquisición de información y, sólo en segundo lugar, como un proceso de desarrollo de destrezas.

En las últimas décadas, la investigación en didáctica de las ciencias ha identificado diversas dificultades en los procesos de aprendizaje de las ciencias que se podrían denominar “clásicas”. Entre estas dificultades cabe citar la estructura lógica de los contenidos conceptuales, el nivel de exigencia formal de los mismos y la influencia de los conocimientos previos y preconcepciones del alumno. Recientemente se ha detectado un cierto desplazamiento en los centros de interés de la investigación y se presta cada vez más atención a factores tales como las concepciones epistemológicas de los alumnos, sus estrategias de razonamiento o a la metacognición (Campanario y Otero, 2000).

Ante esta realidad anterior parece claro que las estrategias tradicionales de enseñanza de las ciencias son poco eficaces para promover el aprendizaje significativo. Es innegable que en muchas de las aulas predomina un modelo de enseñanza por transmisión. Según Calatayud, Gil y Gimeno, este modelo tiene su fundamento en unas suposiciones adecuadas (Calatayud, Gil y Gimeno, 1992):

- a) Enseñar es una tarea fácil y no requiere de una especial preparación.
- b) El proceso de enseñanza-aprendizaje se reduce a una simple transmisión y recepción de conocimientos ya elaborados.
- c) El fracaso de muchos alumnos se debe a sus propias deficiencias: falta de nivel, falta de capacidad, etc.

Afortunadamente hoy en día y en pleno siglo XXI, y aunque todavía no hemos conseguido una respuesta definitiva al problema de cómo enseñar ciencias, disponemos de criterios más exigentes para analizar y evaluar críticamente las distintas propuestas.

Todos los enfoques alternativos a la enseñanza tradicional de las ciencias de hoy descartan el modelo del aprendizaje por transmisión unánimemente combatido por los especialistas e investigadores en enseñanza de las ciencias.

El constructivismo tiene sus raíces en la filosofía, psicología, sociología y educación. El verbo construir proviene del latín *struere*, que significa ‘arreglar’ o ‘dar estructura’. El principio básico de esta teoría proviene justo de su significado. La idea central es que el aprendizaje humano se construye, que la mente de las personas elabora nuevos conocimientos a partir de la base de enseñanzas anteriores. El aprendizaje de los estudiantes debe ser activo, deben participar en actividades en lugar de permanecer de manera pasiva observando lo que se les explica.

El constructivismo difiere con otros puntos de vista, en los que el aprendizaje se forja a través del paso de información entre personas (maestro-alumno), en este caso construir no es lo importante, sino recibir. En el constructivismo el aprendizaje es activo, no pasivo. Una suposición básica es que las personas aprenden cuándo pueden controlar su aprendizaje y están al corriente del control que poseen. Esta teoría es del aprendizaje, no una descripción de cómo enseñar. Los alumnos construyen conocimientos por sí mismos. Cada uno individualmente construye significados a medida que va aprendiendo.

Las personas no entienden, ni utilizan de manera inmediata la información que se les proporciona. En cambio, el individuo siente la necesidad de «construir» su propio conocimiento. El conocimiento se construye a través de la experiencia. La experiencia conduce a la creación de esquemas que para

Piaget son modelos mentales que almacenamos en nuestras mentes. Estos esquemas van cambiando, agrandándose y volviéndose más sofisticados a través de dos procesos complementarios: la asimilación y el alojamiento (Piaget, 1955).

El constructivismo social tiene como premisa que cada función en el desarrollo cultural de las personas aparece doblemente: primero a nivel social, y más tarde a nivel individual; al inicio, entre un grupo de personas (inter-psicológico) y luego dentro de sí mismo (intrapsicológico). Esto se aplica tanto en la atención voluntaria, como en la memoria lógica y en la formación de los conceptos. Todas las funciones superiores se originan con la relación actual entre los individuos (Vygotsky, 1978).

El ambiente de aprendizaje constructivista se puede diferenciar por ocho características: 1) el ambiente constructivista en el aprendizaje provee a las personas del contacto con múltiples representaciones de la realidad; 2) las múltiples representaciones de la realidad evaden las simplificaciones y representan la complejidad del mundo real; 3) el aprendizaje constructivista se enfatiza al construir conocimiento dentro de la reproducción del mismo; 4) el aprendizaje constructivista resalta tareas auténticas de una manera significativa en el contexto en lugar de instrucciones abstractas fuera del contexto; 5) el aprendizaje constructivista proporciona entornos de aprendizaje como entornos de la vida diaria o casos basados en el aprendizaje en lugar de una secuencia predeterminada de instrucciones; 6) los entornos de aprendizaje constructivista fomentan la reflexión en la experiencia; 7) los entornos de aprendizaje constructivista permiten el contexto y el contenido dependiente de la construcción del conocimiento; 8) los entornos de aprendizaje constructivista apoyan la «construcción colaborativa del aprendizaje, a través de la negociación social, no de la competición entre los estudiantes para obtener apreciación y conocimiento» (Jonassen, 1994).

En el proceso de alojamiento y asimilación de la información, resultan vitales, la experiencia directa, las equivocaciones y la búsqueda de soluciones. La manera en la que se presenta la información es de suma importancia. Cuando la información es introducida como una forma de respuesta para solucionar un problema, funciona como una herramienta, no como un hecho arbitrario y solitario.

El significado es construido en la manera en que el individuo interactúa de forma significativa con el mundo que le rodea. Esto significa que se debe enfatizar en menor grado los ejercicios de habilidades solitarias, que intentan enseñar una lección. Los estudiantes que se encuentren en aulas diseñadas con este método llegan a aprender estas lecciones, pero les resulta más fácil el aprendizaje si al mismo tiempo se encuentran comprometidos con actividades significativas que ejemplifiquen lo que se desea aprender. Según esta teoría, a los estudiantes se les debe hacer hincapié en el aula en las actividades completas, en detrimento de los ejercicios individuales de habilidades; actividades auténticas que resulten intrínsecamente interesantes y significativas para el alumno, y actividades reales que den como resultado algo de más valor que una puntuación en un examen (Hernández, 2008).

Las investigaciones del aprendizaje constructivista han demostrado que los estudiantes aprenden mejor a través de la construcción de conocimiento por medio de una combinación de experiencia, interpretación e interacciones estructuradas con los integrantes del aula escolar (compañeros de clase y profesores). Cuando los estudiantes son situados en un rol pasivo, en el cual su función básica es la de recibir información por medio de clases, que son impartidas por el profesor y a través de los textos que les son asignados, usualmente fallan en tratar de desarrollar el entendimiento suficiente para aplicar lo que han aprendido en situaciones fuera de los textos leídos y del aula escolar. También es importante tener en cuenta el hecho de que las personas tienen estilos diferentes de aprendizaje. El uso de las nuevas tecnologías para la información y la comunicación (TIC'S) y para la adquisición del conocimiento ayuda a la creación de micromundos, en donde el estudiante tiene herramientas que puede utilizar con independencia y a su antojo, logrando así una experiencia que fomenta la adquisición de un proceso de aprendizaje en el que el alumno se siente involucrado en su propio proceso de enseñanza. Las aplicaciones de las nuevas tecnologías deben servir para que el estudiante desarrolle sus ganas de independencia, tomando un papel activo en solucionar problemas, comunicarse efectivamente, analizar información y diseñar soluciones (Carretero y Limón, 1997).

El constructivismo de Vygotsky (1978) se enfoca sobre la base social del aprendizaje en las personas. El contexto social da a los estudiantes la oportunidad de llevar a cabo, de una manera más exitosa, habilidades más complejas que lo que pueden realizar por sí mismos. En los individuos, el componente social es muy importante, tener amigos y compartir con ellos. Llevar a cabo tareas entre

un grupo de estudiantes les proporciona una oportunidad en la que no sólo empiezan a comprender y adoptar ideas de los demás, sino también empiezan a discutir sus actividades y hacen que sus pensamientos sean visibles. El aprendizaje está relacionado con el significado y el uso correcto de las ideas, símbolos y representaciones. A través de las conversaciones sociales y los gestos, los estudiantes y profesores pueden proporcionar consejos explícitos, resolver confusiones y asegurar que sus errores sean corregidos. Además, las necesidades sociales son normalmente una razón para conducir el aprendizaje, porque la identidad social se mejora a través de la participación en la comunidad o al convertirse en miembro de algún grupo de su interés y con el que compartir ideas. Involucrar a los estudiantes en una actividad intelectualmente social puede ser un motivador poderoso y puede llevar a un mejor aprendizaje, que el que resulta cuando los alumnos trabajan individualmente en su escritorio.

Acerca de la construcción de explicaciones y predicciones

El proceso de construir explicaciones y predecir es un eje articulador del proceso de elaborar conocimiento en ciencias naturales y, por ende, básico dentro de la formación escolar. Éste involucra prácticas como interpretar escritos científicos; describir situaciones; identificar características pertinentes para el análisis de un problema, de una situación o de un fenómeno; establecer relaciones entre variables; así como plantear, argumentar y contrastar hipótesis.

El grado de elaboración, complejidad e interpretación de las explicaciones y predicciones tiene como base la comprensión de las ideas centrales de las ciencias naturales previstas para cada etapa de formación.

Acerca de la comunicación de ideas científicas

Otro eje articulador es el proceso de comunicación de ideas científicas, el cual configura los procesos con los que se explicita el conocimiento en ciencias naturales. Este eje involucra desempeños como la presentación oral y escrita de análisis, resultados, explicaciones o predicciones, que muestran indicios y utilizan categorías y lenguaje científico, con un grado de complejidad acorde con la aproximación al estudio de las ciencias naturales en cada etapa escolar.

En la educación media superior los estudiantes deben desarrollar una sofisticación en sus habilidades y la comprensión de la investigación científica, los estudiantes pueden entender que los experimentos son guiados por los conceptos y que se llevan a cabo para probar ideas. Algunos estudiantes aún tienen problemas con las variables y con el control de los experimentos, además suelen tener problemas para trabajar con datos que parecen anómalos y en la propuesta de explicaciones basadas en la evidencia y la lógica más que en sus creencias previas sobre el mundo natural. El debate público de las explicaciones propuestas por los estudiantes a diversas cuestiones es una forma de revisión entre pares y un aspecto importante de la ciencia. Hablar con compañeros sobre las experiencias de la ciencia ayuda a los estudiantes desarrollar el significado y la comprensión de sus construcciones. Sus conversaciones ayudan a aclarar los conceptos y los procesos de la ciencia, ayudando a los estudiantes a darle sentido a los contenidos de la ciencia. Los profesores de ciencia deben involucrar a los estudiantes en las conversaciones que se centran en preguntas como: ¿Qué sabemos? ¿Cómo asegurarse de que los resultados no son erróneos? ¿Existe una forma mejor de hacer esta investigación? Si tuviera que explicar esto a alguien que no sabía nada sobre el proyecto, ¿Cómo lo harías? ¿Existe una explicación científica para el hecho que hemos propuesto? ¿Se necesita realizar otra investigación más? ¿Necesitamos más pruebas? ¿Cuáles son nuestras fuentes de experimentación y error? ¿Cómo se explica que existan otras explicaciones diferentes a la nuestra? Preguntas como éstas hacen posible que los estudiantes analicen los datos y desarrollen un pensamiento lógico y crítico, usen conceptos científicos, realicen conexiones entre la evidencia, explicaciones y reconozcan otras alternativas a una misma cuestión.

Se debe alentar a que los estudiantes de bachillerato formulen hipótesis comprobables y demostrar conexiones lógicas entre los conceptos científicos rectores de una hipótesis y el diseño de un experimento, deben mostrar procedimientos que sean adecuados y la comprensión conceptual en la que se basa la investigación.

3.2 Secuencia didáctica.

ACTIVIDAD 1

Construcción de un modelo acerca de las relaciones evolutivas parte 1: caracteres morfológicos.

En esta actividad, los estudiantes son alentados a realizar inferencias sobre relaciones evolutivas y a construir un modelo sobre relaciones evolutivas a partir del análisis de características morfológicas de ocho animales. La actividad está diseñada para los contenidos del tema de Evolución Biológica del segundo o tercer año de bachillerato. La actividad completa requiere aproximadamente de cuatro horas para su realización.

La actividad provee la oportunidad de que los estudiantes desarrollen habilidades para la investigación científica y específicamente:

- Formulen explicaciones y predicciones usando evidencias.
- Construyan modelos científico-escolares y los expliquen.
- Desarrollen el pensamiento lógico relacionando la evidencia con la argumentación.

- Reconozcan y analicen explicaciones alternativas y predicciones.

Adicionalmente la actividad provee a los estudiantes la capacidad de trabajar en equipo, comunicar, explicar y discutir de manera grupal sus resultados para llegar a una conclusión consensada por todos.

Introducción

La afirmación central de la teoría de la evolución, tal y como se establece en 1859 por Charles Darwin en “El origen de las especies” es que los organismos, a pesar de su diversidad en la forma y modo de vida, son los productos de descendencia con modificaciones a partir de ancestros comunes. Para comunicar esta idea, Darwin desarrolló la metáfora del “árbol de la vida”. En ella Darwin explicaba el origen de las especies hacia atrás en el tiempo, de la misma manera que las ramas separadas de un árbol se remontan a las ramas principales.

En la actualidad, el resultado de las investigaciones y posterior reconstrucción filogenética generalmente se representa en un diagrama llamado árbol evolutivo. Los árboles evolutivos (o árboles filogenéticos) son

representaciones o modelos hipotéticos ilustrados en diagramas con forma de árbol y muestran la secuencia de eventos de ramificación a partir de los cuales las especies ancestrales dieron origen a las especies descendientes. Es decir comunican las relaciones evolutivas existentes entre los organismos.

La evolución en su esencia, es una afirmación de que las especies vivientes están relacionadas por descendencia a partir de ancestros comunes. Los árboles ayudan a integrar conceptos evolutivos y proporcionan a los estudiantes un marco de organización y estructuración del conocimiento y la diversidad biológica. Por lo tanto la alfabetización biológica requiere cierta habilidad de pensar en términos de ancestría-descendencia (árbol evolutivo) (Offner, 2001).

Los árboles filogenéticos son las representaciones más directas del principio de ancestría común y descendencia con modificación, y por tanto, deben encontrar un lugar más destacado en la comprensión del público en general acerca de la Evolución Biológica.

Objetivos

Que los estudiantes:

- Comparen caracteres morfológicos de algunas especies para inferir y elaborar hipótesis acerca de las relaciones evolutivas existentes entre ellas.
- Se familiaricen con el concepto de ancestría-descendencia.
- Construyan un modelo escolar-científico (árbol evolutivo) usando los caracteres morfológicos de las especies estudiadas.
- Den sentido al modelo construido explicando y evidenciando las relaciones entre los organismos.
- Den opiniones a favor y en contra del modelo construido.
- A través de la explicación del modelo comprendan los siguientes conceptos:
 - ✓ Caracter derivado
 - ✓ Caracter ancestral
 - ✓ Homología
 - ✓ Analogía
 - ✓ Especiación
 - ✓ Extinción

- ✓ Ancestría común
- ✓ Similitud
- ✓ Parentesco evolutivo
- ✓ Evolución

Materiales para los estudiantes

En equipo de estudiantes:

- Un juego completo de imágenes de los animales usados en esta actividad:

Nombre común	Nombre científico
1. Medusa	<i>Chrysaora fuscescens</i>
2. Tiburón tigre	<i>Carcharias taurus</i>
3. Ser humano	<i>Homo sapiens</i>
4. Trucha café	<i>Salmo trutta</i>
5. Ratón	<i>Mus musculus</i>
6. Búho	<i>Bubo virginianus</i>
7. Rana	<i>Xenopus laevi</i>
8. Cocodrilo	<i>Crocodylus niloticus</i>

- Hojas de papel blancas
- 2 Pliegos de papel bond blancos
- Pluma
- Lápiz
- Regla
- Marcadores de colores
- Cinta adhesiva
- Investigación acerca de las características de los organismos estudiados.

Procedimiento

Antes de la actividad

Como primer tarea se pide a los estudiantes que obtengan información y datos generales (forma de vida, forma de reproducción, características morfológicas, hábitat etc.) acerca de los animales anotados para trabajar en esta actividad.

Introducción a la actividad

Como una introducción a la actividad y con el fin de que los estudiantes se familiaricen con la terminología filogenética (de árboles evolutivos) el profesor puede realizar una revisión de algunos conceptos importantes como: caracter, cladograma, filogenia, ancestro común, linaje, etc.

Etapa 1. Elaboración de hipótesis previas.

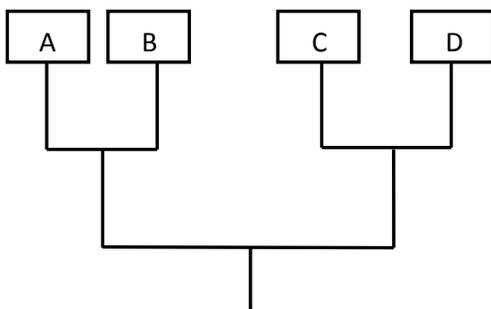
Los estudiantes trabajan con las imágenes de los organismos, primero observando características morfológicas y organizándolos de acuerdo a ellas, para tratar de agruparlos según las características que sean reconocidas. Se pueden realizar las siguientes preguntas a los estudiantes con el fin de guiarlos hacia una agrupación de los organismos conforme a sus relaciones evolutivas o de ancestría común.

1. ¿Será posible que todos los organismos presentados provengan del mismo ancestro?

2. ¿Cuáles de los organismos crees que están más estrechamente relacionados con el cocodrilo (o son más cercanos evolutivamente al cocodrilo)? Justifica tu respuesta
3. ¿Cuáles de los animales están más estrechamente relacionados con el ratón? Justifica tu respuesta.

Se pide también a los estudiantes que generen una lista de los caracteres morfológicos que fueron examinados en los animales y en los que se basaron para la agrupación realizada. Se puede pedir a los estudiantes que indiquen cuáles de esos caracteres son comunes a todos los organismos o sólo a algunos.

Una vez que se tengan los organismos agrupados conforme a los criterios elegidos se realizará un diagrama como el de la siguiente figura para representar las relaciones entre ellos:



Se puede intervenir en los equipos para realizar algunas preguntas que dirijan a los

estudiantes hacia la elaboración de diagramas dicotómicos, como por ejemplo ¿Qué característica comparten el ser humano y el ratón pero no tienen los demás animales? Una vez que los diagramas estén contruidos, los estudiantes explican las relaciones que infirieron y comunican sus conclusiones al resto de la clase. Se comparan y contrastan las diferentes relaciones que se elaboren.

El objetivo de esta primera actividad es que los estudiantes creen grupos e hipótesis sobre las relaciones evolutivas infiriéndolas a partir de las comparaciones morfológicas realizadas.

Etapla 2. Elaboración del árbol. Se pide a los estudiantes que completen una matriz de datos con una lista adicional de caracteres (Tabla1) que posteriormente les ayuda a construir un árbol evolutivo, los estudiantes pueden obtener esta información de los datos que investigaron en la actividad previa. Se anota un 0 para indicar la ausencia del carácter y un 1 para la presencia de ese carácter.

Tabla 1 Lista de caracteres

1. Vértebras
2. Esqueleto óseo

3. Cuatro extremidades**4. Huevo amniótico****5. Pelo****6. Fosas temporales**

Antes de pasar al árbol evolutivo y ya que todos los equipos hayan llenado la matriz de datos se pide que sea verificada para asegurarse de que fue llenada correctamente.

Con la información anterior, se llena el árbol evolutivo anexo, anotando en cada nodo del diagrama cuál es la nueva característica que es heredada a todos los descendientes (carácter derivado), y en las puntas los animales correspondientes.

Se explica a los estudiantes que el árbol evolutivo que construyeron es una hipótesis sobre las posibles relaciones evolutivas de ese conjunto de animales basado en características morfológicas y que se pueden usar datos moleculares para construir hipótesis que pueden resultar iguales, semejantes o diferentes. Se puede indicar también que la reconstrucción filogenética es un trabajo muy complejo en donde a menudo se usa una combinación de caracteres morfológicos y moleculares y que es el resultado del trabajo y consenso de muchas personas (Flory *et al.*, 2005).

Etapa 3. Explicación y evaluación. Para la actividad final, se puede pedir a los estudiantes ya sea de forma individual o en equipo que expliquen el árbol evolutivo construido, se espera la participación plena de los estudiantes y que demuestren que comprendieron los conceptos básicos en el momento de explicar lo que comunica el árbol evolutivo, la aplicación correcta de esos conceptos se puede usar como una forma de evaluación, se invita a que los demás estudiantes participen realizando preguntas a sus compañeros e incluso el profesor instructor puede realizar preguntas como: ¿Qué organismos comparten un ancestro común con la presencia de vértebras? ¿Qué organismo es el que tiene más caracteres derivados? y animar a los estudiantes a defender sus respuestas.

Se puede evaluar más que la perfección en las respuestas, la reflexión, claridad y comprensión de los conceptos.

La actividad se propone como una distinta manera de tratar la evolución biológica, tratando de que realice una discusión que promueva colaboraciones entre los estudiantes para la comprensión de conceptos básicos, aunque la actividad se centra en el concepto básico de la evolución de que todos los

organismos vivos o extintos estamos relacionados porque descendemos de un ancestro común.

La actividad promueve entre los estudiantes habilidades de investigación sin necesidad de un laboratorio o equipo especializado, para no consumir mucho tiempo se debe focalizar a los estudiantes hacia el cumplimiento de los objetivos.

La actividad se puede adaptar fácilmente a otros taxones, incluidas las aves, insectos, hongos y plantas, pero los estudiantes están más familiarizados con animales, por lo tanto se puede usar una gran variedad de organismos para comparar.

Esta actividad práctica permite a los estudiantes aprender sobre las relaciones evolutivas de un grupo de animales, y sus diferencias morfológicas. Los estudiantes determinan caracteres apropiados para la comparación dirigida hacia la reconstrucción de relaciones evolutivas basadas en esas características, y la comprensión de conceptos básicos en evolución biológica (porque los relaciona) como ancestría común, ancestría-descendencia, homología, analogía, especiación, etc.

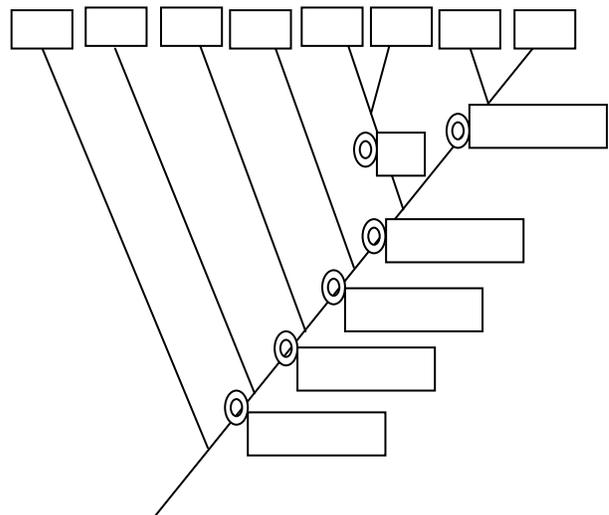
Referencias

Flory, S.L., Ingram, E. L., Heidinger, B. J. y Tintjer, T. (2005). **Hands-on in the nonlaboratory classroom: reconstructing plant phylogenies using morphological characters.** *American Biology Teacher*, 67, 542–548.

Offner, S, (2001). **A universal phylogenetic tree.** *The American Biology Teacher*, 63(3), 164-170.

Anexo

Árbol evolutivo para completar



ACTIVIDAD 2

Construcción de un modelo acerca de las relaciones evolutivas parte 2: caracteres moleculares.

En esta actividad, los estudiantes son animados a reconstruir relaciones evolutivas y construir un modelo escolar-científico con base en características moleculares (RNA) de ocho organismos. La actividad está diseñada para los contenidos del tema de evolución biológica del segundo o tercer año de bachillerato. La actividad completa requiere aproximadamente de dos horas para su realización.

La actividad provee la oportunidad de que los estudiantes desarrollen habilidades para la búsqueda de información científica y específicamente:

- Formulen explicaciones y predicciones usando evidencias.
- Construyan modelos científicos-escolares y puedan explicarlos.

- Desarrollen el pensamiento lógico relacionando la evidencia con la explicación.
- Reconozcan y analicen explicaciones alternativas y predicciones.
- Desarrollen habilidades para la búsqueda, interpretación y organización de información.

Adicionalmente la actividad provee a los estudiantes la capacidad de trabajar en equipo, comunicar, explicar y discutir de manera grupal sus resultados para llegar a una conclusión consensuada por todos.

Al profesor, la actividad le da la oportunidad de revisar conceptos relacionados con el tema del ejercicio como: gen, mutación, ADN, ARN, proteínas, transcripción, traducción, etc.

Introducción

Un árbol filogenético es una representación gráfica de las relaciones entre un grupo de taxa y uno de sus principales atractivos es que puede mostrar de manera ilustrativa la evolución.

Una de las claves fundamentales de los descubrimientos en Biología está basada en las comparaciones entre los caracteres de dos individuos diferentes para obtener

conclusiones. Anteriormente los biólogos evolucionistas empleaban la morfología o la fisiología comparada para inferir las relaciones evolutivas entre los taxa, el avance de la biología molecular en las últimas décadas ha permitido a los científicos obtener información a nivel molecular.

Se han desarrollado técnicas como la de secuenciación de ácidos nucleicos, por lo tanto la evolución de las relaciones entre los organismos pueden ser estudiadas mediante la comparación de sus secuencias de ADN, ARN o de aminoácidos (proteínas), en estos casos se analizan las similitudes y diferencias a nivel de aminoácidos o nucleótidos, es decir entre dos proteínas o dos cadenas de DNA o RNA con el fin de deducir relaciones estructurales, funcionales o evolutivas entre ellos.

Puesto que una de las causas de la evolución es la mutación de los genes, la reconstrucción de árboles filogenéticos proporciona información básica de cómo funciona la evolución, especialmente si se considera la secuencia de más de un gen.

Las secuencias se comparan a fin de identificar cambios de los acontecimientos que puedan haber ocurrido desde que los

organismos se separaron de un antepasado común (Campo y García-Vázquez, 2009).

De los alineamientos de secuencias se pueden deducir la historia o relaciones evolutivas de las secuencias comparadas, y podemos comprobar cómo existe un mayor porcentaje de similitud entre las secuencias de dos o más taxa. Podemos inferir, por tanto, que las secuencias de los organismos se originaron a partir de la de un ancestro común y han ido divergiendo de esa secuencia a medida que pasa el tiempo. Los cambios que poco a poco se acumulan en las secuencias son sustituciones, inserciones y deleciones. En el caso de una secuencia proteica los aminoácidos diferentes representarían las sustituciones, mientras que los espacios serían inserciones en una secuencia o deleciones en la otra.

Cuando comparamos secuencias de proteínas es evidente que existen ciertas regiones en que están más conservadas que otras. Esta información puede ser indicativa de que esas zonas son cruciales para mantener la estructura o función de la proteína.

Bases de datos de secuencias de ADN:

- European Molecular Biology Lab (EMBL): <http://www.embl.ac.uk/embl/index.html>
- GenBank: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>
- DNA Data Bank of Japan (DDBJ): <http://www.ddbj.nig.ac.jp>

Bases de datos de proteínas:

- SWISS-PROT: <http://www.expasy.ch/sprot/sprotop.html>
- Protein Information Resource (PIR): <http://pir.georgetown.edu/pirwww/>
- Protein Data Bank (PDB): <http://www.rcsb.org/pdb/>

Sitios de identificación génica o Bio-Portal

- GenomeWeb: <http://www.hgmp.mrc.ac.uk/GenomeWeb/nuc-geneid.html>
- BCM Search Launcher: <http://searchlauncher.bcm.tmc.edu/>
- MOLBIOL: <http://www.molbiol.net/>
- Pedro's BioMolecular Research tools: http://www.biophys.uni-duesseldorf.de/BioNet/Pedro/research_tools.html
- ExPASy Molecular Biology Server: <http://www.expasy.ch/>

Bases de datos de interés particular sobre animales domésticos:

- <http://locus.jouy.inra.fr/cgi-bin/bovmap/intro.pl>
- <http://www.cgd.csiro.au/cgd.html>
- <http://www.ri.bbsrc.ac.uk/cgi-bin/arkdb/browsers/>
- <http://www.marc.usda.gov/genome/genome.html>
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/guide/pig/>
- <http://www.ensembl.org/index.html>
- <http://www.tigr.org/>
- <http://omia.angis.org.au/>
- <http://www.livestockgenomics.csiro.au/ibiss/>
- <http://www.thearkdb.org/>
- <http://www.hqsc.bcm.tmc.edu/projects/bovine/>

Recuadro 1. Bases de datos de moléculas biológicas. FAO, 2010.

Bases de datos públicas

Aunque la diversidad morfológica de los animales puede generar entusiasmo en los estudiantes, es más fácil interesarlos en el uso de la diversidad molecular para examinar las relaciones evolutivas (filogenia molecular y sistemática). La revolución molecular y de las computadoras nos brindan un mayor apoyo

para evaluar las relaciones entre los organismos que sólo el examen morfológico. Por esta razón, estamos en un emocionante periodo de cambio en nuestra comprensión de las relaciones entre los organismos y, en consecuencia, conviene su uso para involucrar a los estudiantes en el estudio de bases de datos públicas para el estudio de la evolución y otros campos de interés. Por otro lado las bases de datos como Genbank son una rica fuente de datos de miles de estudios realizados en todo el mundo. Estas bases de datos también tienen un gran potencial como herramienta de enseñanza (Puterbaugh y Burleigh, 2001)

Muchas de las publicaciones científicas requieren que los autores incluyan algunas secuencias en sus artículos para revisión. Las bases de datos públicas se encuentran en línea de manera gratuita. Las dos bases de datos más frecuentemente usadas son Genbank y Swiss-Prot. Genbank contiene datos de nucleótidos y aminoácidos, está asociada al Centro Nacional de información en biotecnología, en inglés: *Nacional Center for Biotechnology information* (NCBI), que forma parte de los Institutos Nacionales de Salud o en inglés *National Institutes of Health* (NIH) (Benson *et al.*, 1999).

Swiss-Prot contiene secuencias de aminoácidos, sólo proteínas, el sitio es Biología Molecular o en inglés *European Molecular Biology Laboratory* (EMBL) y el Instituto Suizo de Bioinformática, en inglés *Swiss Institute of Bioinformatics* (SIB) (Bairoch y Apweiler, 2000). Se puede consultar en estas bases de datos usando palabras clave, nombres científicos o nombres comunes de las especies investigadas o incluso un número de identificación para la especie (Recuadro 1).

La actividad aquí descrita requiere que los estudiantes investiguen las secuencias de ARN 18S desde Genbank.

El ARN 18S

El gen 18S ARNr es uno de los marcadores moleculares más importantes, utilizados en diversas aplicaciones, tales como los análisis filogenéticos moleculares y detección de biodiversidad.

El ARNr 18S es ampliamente utilizado en el análisis molecular para reconstruir la historia evolutiva de los organismos, especialmente invertebrados, ya que su tasa de evolución lenta hace que sea propicio para reconstruir antiguas divergencias.

Los genes que codifican para el componente ARN de la subunidad ribosomal pequeña (ARNr 16S de procariontas y en eucariotas de 18S, abreviados como SSU) han sido reconocidos como genes adecuados para el establecimiento de inferencias filogenéticas por varias razones, entre ellas que son genes homólogos en todas las formas de vida celular, comparten una secuencia de nucleótidos identificable entre organismos y son parálogos dentro de cada organismo, a pesar del alto grado de conservación de estos genes, la variabilidad genética es lo suficientemente grande como para reconstruir genealogías fiables (Medina-Pons *et al.*, 2009).

Objetivos

- Introducir a los estudiantes al conocimiento y uso de bases públicas de datos moleculares.
- Involucrar a los estudiantes para responder preguntas sobre temas evolutivos con evidencias basadas en datos moleculares.
- Introducir a los estudiantes nuevos conceptos en aspectos moleculares.
- Ilustrar importantes conceptos evolutivos como divergencia,

homología, ancestría-descendencia, ancestro común, etc.

- Inducir a los estudiantes al uso y manejo de dos de los programas usados para análisis de datos moleculares.

La actividad requiere de una computadora para descargar y guardar las secuencias obtenidas desde bases de datos disponibles y libres en internet. El ejercicio involucra la construcción de un árbol filogenético con el que se busca que los estudiantes puedan comprender algunos temas sobre evolución biológica sin involucrarse directamente con los detalles del método, los cuales pueden resultar muy complejos.

Materiales para los estudiantes

De manera individual o en parejas de estudiantes:

- PC con acceso a internet y un procesador de textos.
- Memoria USB.
- Nombres científicos y comunes de los organismos a investigar :

Nombre común	Nombre científico
1. Medusa	<i>Chrysaora fuscescens</i>
2. Tiburón tigre	<i>Carcharias taurus</i>
3. Ser humano	<i>Homo sapiens</i>
4. Trucha café	<i>Salmo trutta</i>
5. Ratón	<i>Mus musculus</i>
6. Búho	<i>Bubo virginianus</i>
7. Rana	<i>Xenopus laevi</i>
8. Cocodrilo	<i>Crocodylus niloticus</i>

Procedimiento

Paso 1. Entrar al sitio de Genbank en la dirección <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Paso 2. Buscar la secuencia con la que trabajaremos para los organismos en estudio, 18S ribosomal RNA gene, que en español es el ARN ribosomal 18S para cada uno de los organismos del ejercicio. En el buscador de la página se anota el nombre científico del organismo y se pide secuencia de nucleótidos (Fig.1).



Figura 1. Sitio Web del GenBank.

Una vez que se muestra la información de la especie requerida, seleccionar “FASTA” para que aparezca en la pantalla la secuencia de nucleótidos con ese formato (Fig. 2).

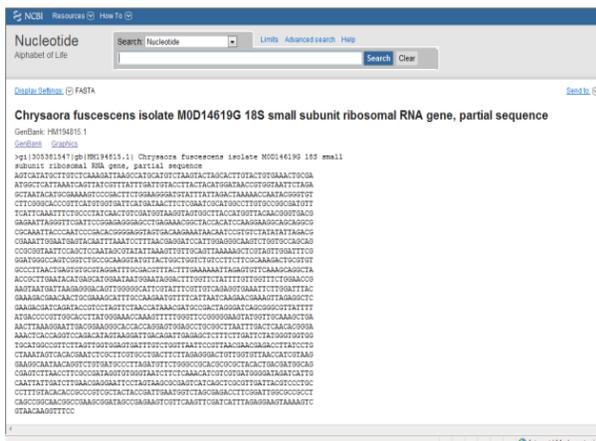
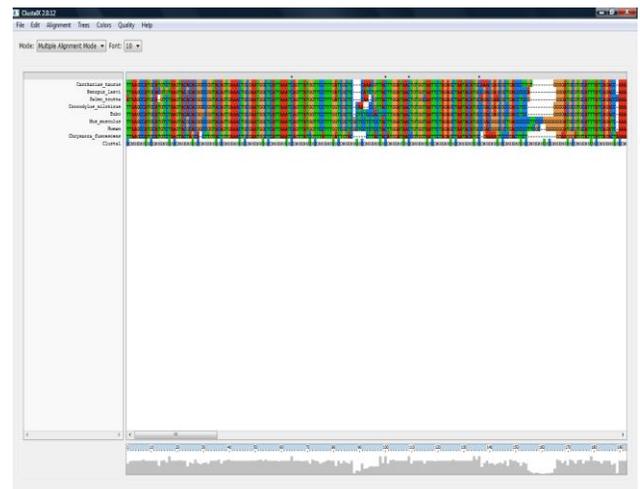


Figura 2. Secuencia de nucleótidos en formato FASTA.

Será necesario guardar la secuencia, para copiarla sólo hay que seleccionarla incluyendo al símbolo “>”, se pega en un archivo de texto sin formato (bloc de notas o notepad). Trabajar de la misma forma con todos los organismos hasta obtener las ocho secuencias y tenerlas guardadas.

Paso 3. Alineación y comparación de las secuencias obtenidas.

Se usará el programa ClustalX, que puede descargarse directamente de la red, una vez descargado y abierto el programa, se abre desde este el archivo antes guardado con las secuencias de cada uno de los organismos de la actividad, cuando el programa lo abra, la pantalla, se mostrará como sigue:



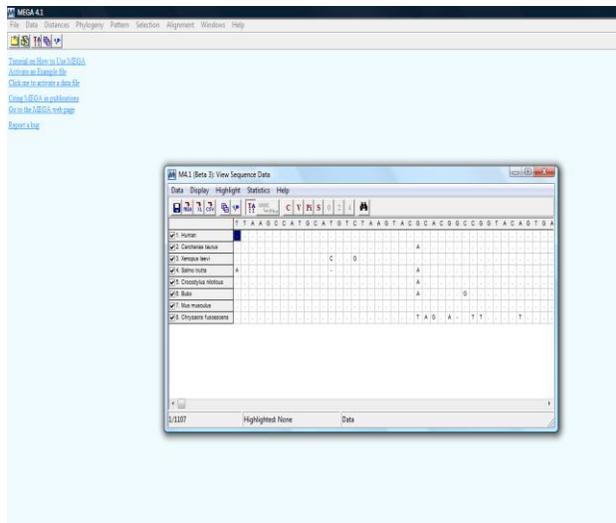
Ir a la pestaña “alignment” y seleccionar “do complet alignment”, después de algunos segundos en la pantalla se muestran las secuencias alineadas. Se guarda el archivo con esas secuencias ya alineadas.

En ese momento el profesor puede intervenir para pedir a los estudiantes que observen las secuencias una vez alineadas, se puede hacer énfasis en los espacios que se observan y

explicar su significado, así como el de las coincidencias y diferencias que se encuentran.

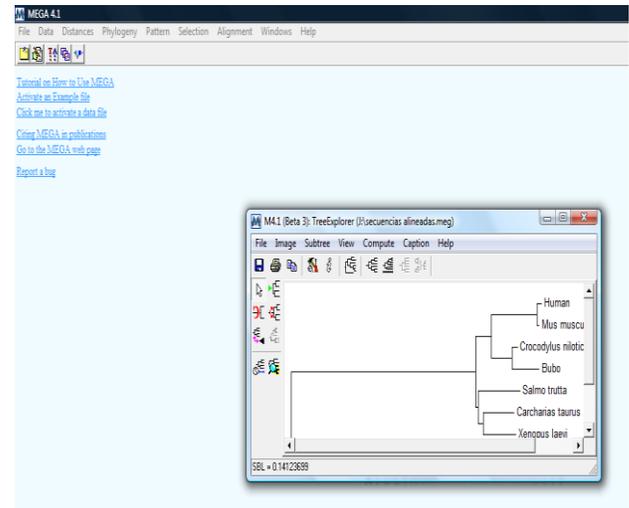
Etapa 4. Construcción del árbol.

Se usará el programa MEGA4.1 para la construcción del árbol evolutivo, puede descargarse directamente de la red, una vez descargado y abierto se elige abrir archivo y se abre el archivo que se guardó previamente con las secuencias alineadas. Se selecciona el ícono “convert” o “MEGA format” para convertir a un formato que el programa reconozca y se cierra el archivo nuevo. Se abre el archivo de reciente creación con extensión .meg. Indicar al programa que se trata de una secuencia de nucleótidos y que esa secuencia es no codificante (se trata de ARN ribosomal), se desplegará una pantalla como la siguiente:



En la parte superior de la pantalla seleccionar la pestaña “phylogeny” y posteriormente

“neighbor joinig” y luego en “compute”. En la pantalla se mostrará el árbol evolutivo construido con los datos moleculares que se obtuvieron desde Genbank para los organismos del ejercicio como sigue:



Se guarda y se imprime el árbol obtenido.

Referencias

Bairoch, A. y Apweiler, R. (2000). **The SWISS-PROT protein sequence database and its supplement TrEMBL in 2000.** *Nucleic Acids Research*, 28, 45-48.

Benson, D.A., Boguski, M.S., Lipman, D.J., Ostell, J., Ouellette, B.F., Rapp, B.A. y Wheeler, D.L. (1999). **GenBank.** *Nucleic Acids Research*, 27, 12-17.

Campo D. y E. Garcia-Vazquez.(2008) **Inquiry-based learning of molecular phylogenetics** *JBE* | Volumen 43 Número1.

Medina-Pons F.J. J. Terrados, A. López-López. P.Yarza. y R. Rosselló- Móra (2009) **Evaluation of the 18S rRNA clone library approach to study the**

diversity of the macroeukaryotic leaf-epiphytic community of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.)
Delile. 156:1963–1976 DOI 10.1007/s00227-009-1221-2.

Puterbaugh, M. N. y J. G. Burleigh. (2001).
Investigating evolutionary questions using online molecular databases. *The American Biology Teacher*
63:6422–431. DOI:10.1662/0002-7685(2001)063[0422:IEQUOM]2.0.CO;2.

ACTIVIDAD 3

Comparación de los árboles construidos en las actividades 1 y 2.

Esta actividad está pensada para que los estudiantes integren lo que se aprendió a partir de las dos actividades anteriores y el profesor pueda evaluar y verificar contenidos. En esta actividad se pide al estudiante realizar una comparación entre los dos modelos construidos para llegar a una conclusión acerca de las relaciones evolutivas de los organismos estudiados. Se sugiere una rúbrica como forma de evaluación de las construcciones de los estudiantes y los conceptos aplicados en la explicación de sus modelos.

Introducción

Datos morfológicos y datos moleculares

Desde que los datos moleculares (p.ej., alozimas, secuencias de DNA o RNA) se incorporaron a los análisis filogenéticos, ha existido un debate sobre si éstos o los morfológicos resultan mejores como fuente de información para estimar la filogenia (Patterson *et al.*, 1993). Algunos investigadores piensan que los caracteres morfológicos no son informativos y “generan ruido” en los análisis (por ej., Sibley y

Ahlquist, 1987), pero otros piensan que los caracteres moleculares brindan una señal muy débil (por ej., Kluge, 1983). Sin embargo, este es un falso debate. De acuerdo a Moritz y Hillis (1996) este conflicto entre los tipos de caracteres se ha exagerado puesto que el objetivo de la sistemática molecular no ha sido refutar las hipótesis filogenéticas realizadas con caracteres morfológicos, sino que los datos moleculares pueden auxiliar cuando la variación morfológica es limitada y la homología de los caracteres morfológicos no es clara.

Para Wiley (1981), los caracteres moleculares no son la panacea en la reconstrucción filogenética, pero está de acuerdo en que proporcionan información útil que se puede incorporar a otros conjuntos de datos compatibles, dentro de un esquema filogenético. El mismo autor comenta críticamente que no siempre se llegará a la verdad mientras más cerca del gen nos encontremos. De hecho, se pueden elegir caracteres no homólogos que sean estructuralmente similares.

Aunque periódicamente aparecen argumentos a favor de un tipo de datos sistemáticos sobre el otro, muchos taxónomos reconocen que ambos enfoques tienen sus propias ventajas y desventajas. Sin embargo, debido a que en los

últimos años las opiniones a favor de los análisis con caracteres moleculares se han incrementado, se ha propiciado que los puntos de crítica de los morfólogos se vean disminuidos. La discusión que se da entre los partidarios de los caracteres morfológicos y moleculares se ha centrado al menos en los siguientes puntos: el tamaño del conjunto de datos, la facilidad para la obtención de los datos, el costo de los análisis e incluso cuestiones filosóficas, como puede ser el uso de un determinado concepto de especie.

El tamaño del conjunto de datos es una ventaja para los caracteres moleculares, pues toda la información heredable de un organismo está codificada en el DNA de sus genes, por lo tanto el conjunto de datos es enorme. Además, pueden proporcionar un registro filogenético que abarca desde tiempos muy recientes hasta muy cercano al origen de la vida sobre la Tierra (Hillis, 1987).

Objetivos

- Que los estudiantes comparen los modelos construidos.
- Que los estudiantes argumenten a favor y en contra de uno y otro modelo.

- Evaluar en la presentación y explicación de los estudiantes mediante el uso de una rúbrica la comprensión de los conceptos relacionados.

Materiales para los estudiantes

- Los dos modelos construidos en las actividades 1 y 2 (preparados para presentarlos ante sus compañeros de clase).

Procedimiento

Etapa 1. Comparación de los modelos. Los estudiantes en equipo realizan la interpretación de los modelos y los comparan. Se pide a los estudiantes anotar en que son iguales o en qué aspectos resultaron diferentes.

Etapa 2. Argumentación acerca de la validez de los modelos. Los estudiantes pueden opinar acerca de cuál de los dos modelos les parece mejor y explicar las razones de este pensamiento. Se les pide que anoten todos los argumentos a favor y en contra de cada uno.

Etapa 3. Presentación de los modelos al resto de la clase. Cada uno de los equipos de trabajo presenta a sus compañeros de clase el resultado de su comparación. Para el profesor

una posible forma de evaluar esta última parte es a través de una rúbrica (anexo) que incluye la aplicación de los conceptos que se pretende sean comprendidos por los estudiantes.

Etapa 4. Conclusión. Se pide a los estudiantes que de manera individual anoten la(s) conclusión(es) a las que hayan logrado llegar acerca de las relaciones evolutivas en los organismos del ejercicio. Se puede pedir que las conclusiones se compartan para rescatar algunas finales en consenso por todo el grupo. El profesor puede incluir algunas preguntas dirigidas a que los estudiantes puedan llegar a una conclusión válida como: ¿Por qué se consideran hipótesis los árboles evolutivos? ¿Se puede decir que alguna de las dos hipótesis construidas es la mejor? ¿Por qué son importantes las reconstrucciones filogenéticas (de árboles evolutivos)? ¿Por qué es importante la comprensión de diagramas de árboles evolutivos? ¿Cómo es que un árbol evolutivo se relaciona con la ancestría – descendencia? (Se incluye un cuestionario en el apartado de evaluación).

Observaciones y consideraciones

En este ejercicio, se pide a los estudiantes comparar entre dos hipótesis previamente construidas que pueden resultar iguales, semejantes o diferentes basados en sus

observaciones *a priori*, una con datos morfológicos y otra con datos moleculares sobre el conocimiento de las relaciones evolutivas de un grupo de animales. Si el resultado final son dos modelos diferentes sobre las relaciones evolutivas de los mismos organismos, el ejemplo servirá como un poderoso recordatorio de que la investigación científica está basada en evidencias y que con ellas se construyen hipótesis, y que los árboles construidos podrían cambiar a medida que más conjuntos de datos se agregan a la matriz. Esto es importante ya que resalta el hecho de que en la realidad diaria de la ciencia las hipótesis a menudo son el resultado de lo que sabemos en cierto momento y que pueden cambiar a medida que nuestro conocimiento se expande. Es plausible que añadir información a los datos combinados morfológicos y moleculares de la matriz, podría modificar los árboles filogenéticos y que siempre existirá más información en los años siguientes para fortalecer el análisis de las reconstrucciones filogenéticas. Sin embargo, los árboles filogenéticos que resultan de los ejercicios anteriores diferentes o iguales proporcionan una oportunidad importante de enseñar acerca de la naturaleza de la ciencia (Julius y Schoenfuss, 2006).

A medida que cada equipo observa sus propios resultados, estos pueden ser

modificados a través de la adquisición de datos adicionales, los estudiantes llegan a comprender, los efectos acumulativos del conocimiento científico en investigación; por lo tanto, las diferencias en los resultados perturban la creencia de los estudiantes acerca de verdades absolutas en las ciencias, especialmente los presentados en libros de texto y les permitirá se conviertan en pensadores más críticos. Esto representa un evento importante, aunque a menudo pasado por alto ya que a los estudiantes no les gusta escuchar ni a los profesores decir, que en ciencia no hay verdades absolutas, mucho de lo que se sabe son hipótesis que se han construido sobre cierto fenómeno, pero si enseñamos que la ciencia son hechos que deben tener como verdades absolutas estamos enseñando una idea equivocada sobre el desarrollo de la ciencia. Tenemos que hacer conciencia y enseñar que en ciencia se construyen hipótesis y modelos científicos basados en las evidencias encontradas, pero nunca hechos o verdades absolutas.

La serie de los tres ejercicios descritos anteriormente permite a los profesores introducir varios conceptos en las clases de biología a nivel medio superior entre otros ARN, tipos de ARN, nucleótido, mutación, analogía, homología, divergencia, linaje etc., el detalle y la amplitud de los contenidos

discutidos y los que se presenten durante el desarrollo de estos, se deja a discreción del docente. Los ejercicios pueden ser probados a niveles mayores e inferiores de la enseñanza media superior o pueden ampliarse para dar cabida a temas más específicos de los contenidos de biología. Los ejercicios son muy flexibles y según el criterio del profesor pueden usarse en cursos introductorios o como un proyecto a desarrollar durante todo un curso dependiendo de los objetivos pedagógicos a los que se quiera llegar.

Referencias

Hillis, D. M. (1987). **Molecular versus morphological approaches to systematics.** *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 23-42.

Kluge, A. G. y A. J. Wolf. (1993). **Cladistics: what's in a word?** *Cladistics* 9: 183-199.

Matthew L. J. y H. L. Schoenfuss. (2006). **Phylogenetic Reconstruction as a Broadly Applicable Teaching Tool in the Biology Classroom. The Value of Data in Estimating Likely Answers.** *Journal of College Science Teaching.*

Moritz, C. y D. M. Hillis. (1996). **Molecular systematics: context and controversies, pp. 1-13.** En: **D. M. Hillis, C. Moritz y B. K.Mable (eds).** *Molecular systematics*, 2da ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland.

Patterson, C., D. M. Williams y C. J. Humphries. (1993). **Congruence between molecular and morphological phylogenies.** *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 153-188.

Sibley, C. G. y J. E. Ahlquist. (1987). **DNA hybridization evidence of hominid phylogeny: results from an expanded data set.** *Journal of Molecular Evolution* 26: 99-121.

Wiley, E. O. (1981). **Phylogenetics. The theory and practice of phylogenetic systematics.** John Wiley & Sons, New York, USA.

Anexo

Rúbrica para la evaluación de las actividades-

	Excelente 10 Desempeño excepcional, sin errores.	Bueno 8 Desempeño que supera lo esperado, existen mínimos errores.	Satisfactorio 6 Desempeño que permite la acreditación, contiene errores aunque no frecuentes ni de gravedad.	Requiere mejoras 5 Desempeño por debajo del esperado, tiene errores frecuentes y de gravedad.
Presentación de los modelos elaborados.	Presenta el producto (ambos modelos) completos, impresos, limpios, claros y sin errores.	Presenta el producto (ambos modelos) completos, impresos con errores mínimos.	Presenta el producto (ambos modelos) completos, no impresos y con errores.	No presenta el producto (ambos modelos) o los presenta incompletos.
Aplicación de conceptos.	Recuerda los conceptos con exactitud y los puede distinguir en la interpretación de los modelos. Interpreta correctamente el significado (puede explicar el significado) de estos y los aplica correctamente, asocia los conceptos en el ejemplo.	Recuerda los conceptos, aunque no los puede distinguir e interpretar del todo su significado correctamente, presenta mínimos errores en el significado y aplicación, cierta falta de asociación en el ejemplo.	Recuerda los conceptos y los menciona sin comprender su significado, no puede distinguirlos ni interpretarlos correctamente, ni aplicarlos en el ejemplo.	No recuerda los conceptos, no los distingue en la interpretación de los modelos.
Comparación de los modelos.	Puede distinguir y señalar diferencias entre ambos modelos, comprende la organización de ambos.	Distingue y señala diferencias entre los modelos aunque con errores mínimos, no logra establecer las relaciones entre modelos y no comprende del todo la organización de ellos.	Distingue y señala solo las diferencias básicas entre los modelos, no comprende la organización de ellos.	No identifica ni puede señalar las diferencias entre los modelos.
Argumentación de los modelos.	Genera calificativos a partir del modelo, identifica y discrimina con precisión, busca y establece los argumentos para calificar los modelos. Produce además nuevas visiones analíticas.	Genera calificativos a partir del modelo, busca y establece argumentos con algunos errores para emitir su calificación.	Genera calificativos a partir del modelo sin establecer claramente los argumentos para emitir su juicio	No puede generar calificativos apropiados, sin argumentos.

3.3 Evaluación de las actividades

Después de haber validado la secuencia de actividades, se propone lo siguiente:

Propuesta de evaluación para la actividad 1

1. Se pidió a los estudiantes que por equipos construyeran su propia interpretación para los conceptos trabajados en clase, es decir la elaboración de un glosario, el cual pudiera tener por ejemplo los siguientes:

- Carácter derivado
- Carácter ancestral
- Homología
- Analogía
- Especie biológica
- Especiación
- Extinción
- Ancestría común
- Nucleotido
- ARN
- ADN
- ARNr
- Divergencia
- Mutación (tipos de)
- Herencia
- Linaje
- Evolución

2. Se pidió a los estudiantes la organización de un portafolio para evaluar y documentar lo que han desarrollado en esta actividad, el portafolio incluyó:

- a) Las fotografías o imágenes con las que trabajaron
- b) La investigación que hicieron acerca de las características de los organismos.
- c) La primera organización o clasificación realizada por ellos.
- d) La lista de caracteres morfológicos que usaron para elaborar su organización o clasificación de los organismos.
- e) La segunda forma de clasificación que elaboraron.
- f) La matriz de características que realizaron.
- g) El árbol anexo a la actividad que completaron.

3. Como los estudiantes comunican sus resultados en cada una de las etapas al resto del grupo, se incluyó una escala de valoración o un cuadro de participación para la observación del trabajo en equipo que desarrollan los estudiantes y una para evaluar la presentación que realizan de sus resultados, incluidas en el anexo a este trabajo.

4. Para la evaluación final se proponen algunas preguntas que tengan que ver con el reflexionar, razonar, o verificar lo aprendido y fomentar la autoevaluación. Las preguntas realizadas se encuentran en el anexo a este trabajo.

Reporte de lo obtenido con la aplicación de la propuesta

Para evaluar el impacto de la secuencia didáctica, se trabajó con dos grupos de estudiantes de segundo año de bachillerato de la Escuela Nacional Preparatoria, con 25 y 24 estudiantes, en turnos diferentes matutino y vespertino en momentos diferentes años 2010 y 2011. Se usó un instrumento de evaluación conformado por diez preguntas abiertas (Anexo) con la finalidad de identificar el dominio de conceptos y las ideas previas. La evaluación del trabajo desarrollado por los estudiantes durante la realización de las actividades se llevó a través de un portafolio que contenía toda la información recopilada, los modelos de árboles evolutivos elaborados y un cuestionario. Para evaluar las presentaciones de cada uno de los equipos frente al resto del grupo se usó una rúbrica (Anexos 2,3 y 4).

El instrumento de evaluación con preguntas abiertas se aplicó a ambos grupos en forma de pretest y postest es decir antes y después de trabajar la secuencia didáctica. Se compararon respuestas consideradas como correctas e incorrectas antes y después de la aplicación de la secuencia por estudiante y por pregunta, a las respuestas correctas se les asignó una letra A y a las respuestas incorrectas se les asignó la letra B, los criterios para considerar A o B son descritos más adelante, los resultados se muestran a continuación en las dos tablas siguientes, primero en número y luego en frecuencias:

Número de pregunta	Respuestas A		Respuestas B	
	Antes	Después	Antes	Después
1	2	28	47	21
2	0	6	49	43
3	1	30	48	19
4	2	15	47	34
5	1	36	48	13
6	0	47	49	2
7	0	47	49	2
8	0	33	49	16
9	0	45	49	4
10	2	46	47	3

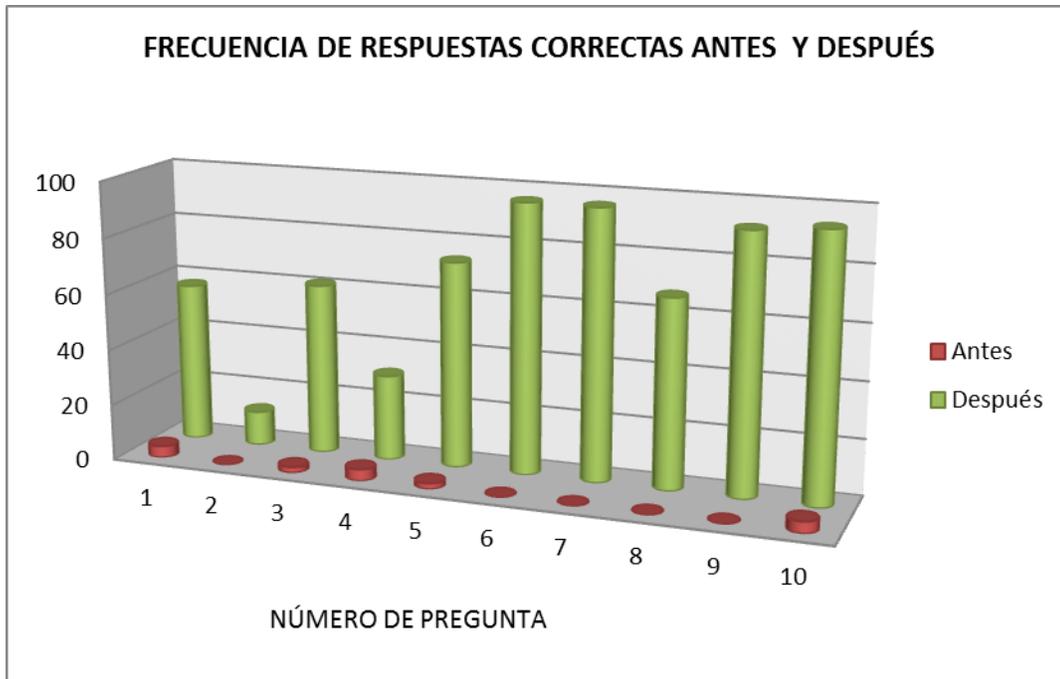
Tabla 5. Resultados de la aplicación del pre y postest. Respuestas correctas A, incorrectas B, de un total de 49 estudiantes.

Número de pregunta	Respuestas A		Respuestas B	
	Antes	Después	Antes	Después
1	4.08	57.14	95.91	42.85
2	0	12.24	100	87.75
3	2.04	61.22	97.95	38.77
4	4.08	30.61	95.91	69.38
5	2.04	73.46	97.95	26.53
6	0	95.91	100	4.08
7	0	95.91	100	4.08
8	0	67.34	100	32.65
9	0	91.83	100	8.12
10	4.08	93.87	95.91	6.12

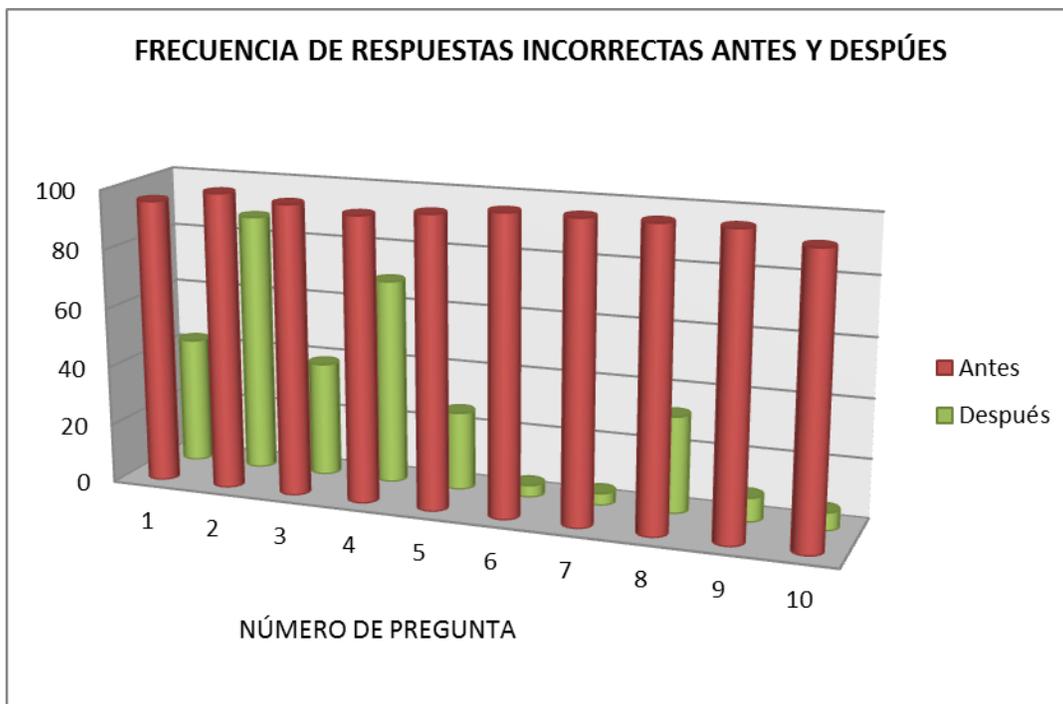
Tabla 6. Frecuencia de respuestas correctas antes y después de la aplicación de la secuencia. Respuestas correctas A, incorrectas B.

Los resultados fueron analizados como una sola muestra de 49 estudiantes a través de una prueba estadística t-student pareada con el objetivo de obtener valores cuantitativos que aportaran evidencia de la significatividad de las respuestas comparadas antes y después de la aplicación de la secuencia.

Se encontró que la frecuencia de respuestas incorrectas antes y después fue muy diferente, como se puede apreciar en las gráficas siguientes. La frecuencia de respuestas correctas fue mucho mayor después que antes de la aplicación. El resultado de la prueba estadística muestra que la comparación entre los resultados de antes y después en las respuestas de los estudiantes son significativamente diferentes, con una $t = -5.481$ calculada, con 9 grados de libertad. ($P = <0.01$) lo que se puede interpretar como que hubo un número significativamente mayor de respuestas correctas después de la aplicación de la secuencia, lo que muy probablemente indique que hubo una mejor comprensión de los conceptos trabajados después de trabajar con la secuencia.



Gráfica 5. Comparación de la frecuencia de respuestas en el instrumento de evaluación antes y después de desarrollar la secuencia didáctica.



Gráfica 6. Comparación de la frecuencia de respuestas en el instrumento de evaluación antes y después de desarrollar la secuencia didáctica.

En trabajo con los estudiantes el pretest sirvió para conocer las ideas iniciales, las cuales ya han sido descritas en los muchos trabajos que se han realizado sobre el tema de evolución biológica con estudiantes, efectivamente se comprobó que una de las ideas previas más arraigadas en los estudiantes es que la evolución biológica se lleva a cabo con un fin y mediante una acción deliberada del organismo para adaptarse o morir, por el pensamiento antropocéntrico que le es atribuido a todos los seres vivos (Grau y de Manuel, 2002). En los grupos con los que se trabajó, una gran parte de los estudiantes anotaron que la evolución es un proceso de cambio para adaptarse, sobrevivir y para mejorar. Los estudiantes por lo tanto no dominan conceptos importantes como la propia evolución biológica y se tiende a la argumentación de la evolución como para mejorar características y ser “más o menos evolucionado”. Es importante tomar en cuenta estas ideas, ya que se usan para rediseñar la estrategia de enseñanza-aprendizaje con el fin de trabajarlas durante el desarrollo de las actividades.

Pretest

Antes de la actividad, en la pregunta *¿Qué es evolución biológica?* el 95% de los estudiantes concebía a la evolución a un cambio de las especies hacia un fin específico, como el de adaptarse a un determinado ambiente para sobrevivir o mejorar. Solo el 5% de los estudiantes respondió de una manera que fue considerada correcta, ya que anotó que la evolución era un cambio de los seres vivos a través del tiempo, sin mencionar el “para” o un fin determinado.

Para la segunda pregunta *¿Qué es una especie biológica?*, el total de los alumnos solo alcanzaron a señalar que una especie biológica es “algo vivo” sin hacer alusión a conceptos tales como las características o la reproducción, por lo tanto se considero incorrecta. En la pregunta *¿Cómo sabemos que hay evolución?*, el 2% de los estudiantes hizo referencia en sus respuestas a las pruebas de la evolución principalmente a las evidencias fósiles, se consideró la respuesta correcta si se mencionaba al menos una de las evidencias de la evolución, ya fueran paleontológicas, biogeográficas, morfológicas o moleculares. El 97% restante no mencionó ninguna de estas evidencias.

La pregunta cuatro, *Describe brevemente la teoría de J.B. Lamarck acerca de la herencia de caracteres adquiridos*, fue respondida de manera correcta por el 4% de los estudiantes, se consideró

correcta si se hizo anotación de que se trataba de los caracteres que eran adquiridos por los seres vivos en el transcurso de su vida sin afectar su genética, de tal manera que no eran transmisibles a la descendencia, el 97% no recordaba a lo que se refería esta teoría, se debe considerar que los estudiantes eran en su gran mayoría provenientes de secundarias con programas en donde se estudia biología solo en el primer año de secundaria, por lo tanto hace tres años que no revisan de manera formal temas sobre biología.

En la pregunta cinco *Describe brevemente la teoría de C. Darwin acerca de la evolución de las especies*, la mayor parte de los estudiantes (98%) no recordó de que se trataba la teoría de C. Darwin, solo el 2% pudo anotar algo acerca de la selección natural por lo que se consideró correcta al mencionar este concepto. Las preguntas 6 *¿Qué causa la evolución?*, 7 *¿Qué es especiación?*, 8 *¿Qué son órganos homólogos?* y 9 *¿Qué son órganos vestigiales?* fueron respondidas por el 100% de los estudiantes de manera incorrecta o no fue respondida, lo que indica que estos conceptos son nuevos para los estudiantes.

Para la pregunta 10 *¿Qué es un árbol evolutivo?* se encontró un porcentaje del 5% de los estudiantes que mencionó que un árbol evolutivo era un diagrama en donde se mostraba a la evolución de especies, lo que se consideró como correcto, esto muestra que algunos estudiantes ya habían revisado antes el concepto el 95% de los estudiantes no respondió la pregunta.

Posttest

Los resultados obtenidos después de aplicar la secuencia variaron notablemente, en cuanto a la pregunta uno *¿Qué es evolución?*, el porcentaje pasó desde un 4% a un 57%, sin embargo un 43% persistió en la idea de que la evolución es un proceso por el cual una determinada especie cambia con un fin específico, ya sea sobrevivir, defenderse de depredadores o mejorar sus habilidades. Cabe mencionar que solamente uno de los estudiantes pasó de una respuesta considerada como correcta antes de la aplicación de la secuencia a una respuesta considerada como incorrecta después de la realización de las actividades, algunos de los estudiantes permanecieron igual, es decir con respuestas incorrectas antes y después, pero la mayor parte pasó de incorrecta a correcta, lo que muy

probablemente demuestre que los estudiantes lograron comprender que la evolución no está asociada a un fin, aunque definitivamente la visión antropocentrista complica esta comprensión.

Para la pregunta dos *¿Qué es una especie biológica?* los resultados mostraron que el 88% de los estudiantes siguieron contestando incorrectamente, solo el 12% contestó de manera correcta, esto debido probablemente a que el concepto de especie no fue debidamente reforzado durante el desarrollo de las actividades, aunque fue usado frecuentemente por los estudiantes, no se alcanzó a comprender la definición del concepto.

En cuanto a la pregunta tres *¿Cómo sabemos que hay evolución?* se observó un cambio favorable, ya que los alumnos demostraron más capacidad para identificar el proceso evolutivo y las evidencias que lo apoyan, las respuestas correctas pasaron de un 2% a un 62%. En la pregunta cuatro *Describe brevemente la teoría de J.B. Lamarck acerca de la herencia de caracteres adquiridos*, el 69% de las respuestas fueron incorrectas, lo que deja claro que las actividades no refuerzan la comprensión de esta teoría de los caracteres adquiridos de J.B. Lamarck, ya que no se involucra en la secuencia.

En la pregunta cinco *Describe brevemente la teoría de C. Darwin acerca de la evolución de las especies*, el porcentaje pasó de un 2% a un 98% de respuestas correctas, ya que en el desarrollo de las actividades se menciona un poco acerca de la teoría de C. Darwin, sobre todo lo que tiene que ver con su metáfora acerca de los árboles evolutivos, lo que involucró a los estudiantes en esta teoría y en la comprensión de lo que representa un árbol evolutivo.

Las preguntas 6 *¿Qué causa la evolución?*, 7 *¿Qué es especiación?*, 8 *¿Qué son órganos homólogos?* y 9 *¿Qué son órganos vestigiales?* mostraron un aumento desde cero a un 100% de respuestas correctas, como estos conceptos se reforzaron mucho durante el desarrollo de las actividades ya que los estudiantes tenían que hacer mención constante a ellos en la explicación de sus resultados y su discusión, además la explicación acerca de los órganos vestigiales les pareció muy interesante, de tal manera que no la olvidaron.

La pregunta diez *¿Qué es un árbol evolutivo?* pasó de un porcentaje del 4% al 94% de respuestas correctas, lo que sugiere que comprendieron finalmente lo que es y lo que representa un árbol evolutivo.

Después de las actividades

Las tres actividades que propone el presente trabajo solicitan a los estudiantes desarrollar una presentación, interpretación y discusión de sus resultados, esto brindó oportunidades para que los estudiantes pudieran discutir y aprender acerca de las observaciones de sus compañeros, obligándolos a participar en ellas.

Al final de la primera actividad se llevó a cabo una evaluación que consistió en la entrega de un portafolio integrado con las siguientes evidencias:

- a) Las fotografías o imágenes con las que trabajaron
- b) La investigación que hicieron acerca de las características de los organismos.
- c) La primera organización o clasificación realizada por ellos.
- d) La lista de caracteres morfológicos que usaron para elaborar su organización o clasificación de los organismos.
- e) La segunda forma de clasificación que elaboraron.
- f) La matriz de características que realizaron.
- g) El árbol anexo a la actividad que completaron.

Sobre estas evidencias se puede decir que el usar imágenes de los animales con los que se trabajó los estudiantes se manifestaron más interesados en la comparación de características morfológicas que si no hubieran tenido en físico las imágenes que puedan observar y manipular. La investigación que realizan sobre las características de cada organismo en estudio es muy básica, ya que solo incluye aspectos como hábitat, tipo de reproducción y algunas características que no siempre sirven para realizar la primera clasificación. Los alumnos elaboraron una primera organización o clasificación de los seres vivos, que suele ser lo más sencillo para ellos o con lo que están más relacionados, es decir agrupan a los organismos de manera muy artificial, los separan por ejemplo por tipo de hábitat diciendo que algunos son acuáticos otros aéreos y terrestres, pero esa primera aproximación a las características de los organismos es muy importante para que posteriormente puedan elaborar una segunda clasificación ahora ya de forma más completa, por esa razón se les pidió que hicieran una lista con los caracteres morfológicos que usaron, esta segunda vez los estudiantes fueron capaces de fijarse en características que antes no habían visto, como por ejemplo si se trata de vertebrados o invertebrados o de acuerdo a su tipo de reproducción.

Antes de construir el árbol evolutivo con el que concluye la primera actividad de la secuencia se pidió a los estudiantes que llenaran una tabla de presencia-ausencia de determinados caracteres, como ya estaban familiarizados con muchos datos morfológicos de los animales en estudio no les resultó difícil realizarla.

Finalmente, los alumnos llenaron los espacios correspondientes en el árbol evolutivo, según manifestaron, hasta este momento de la secuencia no hubo problema para resolver las actividades.

Para evaluar la interpretación que los estudiantes hicieron de su propio árbol evolutivo se les pidió que lo comunicaran de manera oral por equipo ante el resto del grupo. Se formaron siete equipos de trabajo en cada grupo, de los cuales cinco de ellos obtuvieron evaluaciones más altas por la explicación adecuada que realizaron en donde lograron la aplicación correcta de los conceptos.

En la segunda actividad después de que los estudiantes obtienen los datos de las secuencias usaron el programa Clustal X mientras se mostraba en la pantalla la alineación de las secuencias se retomaron conceptos que ya habían sido revisados en temas anteriores como aminoácidos, proteínas, nucleótidos, bases nitrogenadas de ARN y ADN, como el programa muestra colores para cada uno de los nucleótidos que forman las secuencias es mucho más fácil observarlas y encontrar diferencias y similitudes entre ellas, en ese momento se pidió a los estudiantes que recordaran conceptos también ya estudiados como inserción, delección, y sustitución de nucleótidos. Posteriormente los estudiantes usaron el programa MEGA 4.0 el que finalmente les generó el árbol evolutivo construido con datos moleculares.

Durante el desarrollo de las actividades se observó que los estudiantes están más dispuestos a estudiar los contenidos de esta manera nueva para ellos, el trabajar en equipo realizando observaciones y clasificaciones para después compartirlas con el resto del grupo significa que no tienen un papel pasivo observando solo el pizarrón y atendiendo lo que el profesor habla sino que se muestran más activos y comunicativos, no sólo entre ellos sino también con el docente quién en todo momento los asesora.

Aunque el tema de la evolución biológica sigue siendo controversial en cuando a su enseñanza, la reconstrucción de la filogenia de los organismos estudiados en el ejercicio ofrece de manera muy sencilla a los estudiantes y al docente la exposición a muchos de los conceptos clave de la evolución y de muchas otras ramas de la Biología, a través de esta reconstrucción se hacen tangibles los cambios de los organismos, los cuales son de interés particular para los estudiantes, aunque en la reconstrucción de los modelos no aparecen las especies como mejoradas o modificadas con un objetivo específico, se comprobó que es muy difícil esclarecer en las ideas de los estudiantes que la evolución no tiene un fin para mejorar o para la adaptación.

Aunque la actividad se centra en un concepto clave que es la ancestría-descendencia, promueve en los estudiantes la práctica de habilidades de investigación, ya se tienen que tocar aspectos que no directamente se desarrollan con estas actividades como el concepto de adaptación o de selección natural. Para que la actividad no utilice demasiado tiempo, el docente y los estudiantes deben desarrollar las actividades de manera enfocada en los objetivos de cada actividad.

Una vez que los estudiantes se familiarizan con los animales del estudio, pueden comprender de una mejor manera las características morfológicas que presentan, las imágenes que ellos mismos consiguen les a esta familiarización.

No se puede dejar a los estudiantes con la idea de que las filogenias o árboles evolutivos son solo hipótesis sino que son hipótesis basadas en evidencias.

Si los estudiantes tienen en el desarrollo de las actividades una buena comprensión de lo que están haciendo, desarrollan más confianza al realizar todos los pasos de las actividades, la información que presentan puede tener más o menos errores, pero mientras más se refuercen los conceptos ilustrados en la actividad mayor será la aceptación y comprensión que de ellos presenten los estudiantes, se llevaron a cabo recapitulaciones entre las actividades para explorar y reforzar los conceptos que se pretendía estudiar.

Sobre el momento de aplicar la secuencia: La secuencia está diseñada para aplicarse dentro de la unidad de evolución presente en la gran mayoría de los programas de educación media superior en

México, se puede aplicar para iniciar la unidad o al final de la misma, se requiere que los estudiantes ya hayan revisado los temas de estructura y funciones celulares, metabolismo celular, reproducción celular y genética, así mismo la secuencia puede ser usada para unir el tema de evolución con el de la historia evolutiva de la diversidad biológica, ya que si los estudiantes no han revisado aún estos temas se corre el riesgo de que el tema se vea aislado de otros y no se pueda llegar a una verdadera comprensión de todos estos procesos.

A pesar del valor inherente de tomar la evolución como eje conductor de la enseñanza de la biología, aún permanece sin resolver cómo hacer frente a las interpretaciones erróneas generalizadas sobre la teoría de la evolución. Como se ha señalado por Kalman (2002), los estudiantes tienen puntos de vista diferentes a los que se enseña en el aula. Las suposiciones erróneas se amplifican por la falta de conocimientos elementales, incluso de la evolución. El enfoque filogenético aquí propuesto tiene el potencial para resolver algunas de las distorsiones comunes relativas a la evolución, proporcionando hipótesis alternativas a las ideas arraigadas en el conocimiento previo de los estudiantes. Esto no significa descartar las ideas previas de los alumnos sino que basándose en sus anteriores concepciones, se debe discutir y analizar con los estudiantes las nuevas concepciones investigando las evidencias, investigaciones y la falsabilidad del conocimiento erróneo.

La marcha lineal de la evolución interpretada por la mayoría como una transformación desde algo “primitivo o inferior” hasta algo “superior o evolucionado” es una interpretación sumamente arraigada, de tal forma que los docentes deben esforzarse mucho en reforzar la comprensión de que la evolución no es la directa transformación, sino que un linaje es derivado de otros, en un proceso más natural de ramificación relacionado con el origen y la diversificación de las especies a través del tiempo principalmente sobre la base de un ancestro común, pero los procesos de variación aleatoria, selección natural, genética neutra, deriva génica son conceptos que los estudiantes aún no pueden comprender del todo. Sin embargo, esa visualización se puede lograr a través de ilustrar a los taxones como ramas terminales en cladogramas, como se mencionó antes en el texto, esta forma de tratar a la enseñanza de la evolución muestra las relaciones entre las especies estudiadas basándose en los principios básicos de la descendencia con modificación. De tal manera que si la idea de evolución lineal no es por completo eliminada, si se puede minimizar. La enseñanza de la biología evolutiva por medio de la filogenia, es solo un paso hacia este proceso.

La argumentación pedagógica sobre la educación en ciencias considera a los estudiantes como participantes activos del mundo científico, no oyentes inertes que reproduzcan lo que el profesor construyó como su propio aprendizaje o lo que se trata en un libro de texto. Los estudiantes de ciencias deben ser capaces de criticar las teorías y las hipótesis a la luz de los conceptos y la metodología científica, con el fin de reducir al mínimo sus errores propios respecto a la ciencia, y para hacer viables las contribuciones con respecto al proceso del aprendizaje científico.

La Evolución es un hecho (Gould, 1994), y la teoría de la descendencia con modificación es la mejor explicación científica para el origen y la diversificación de los organismos vivos en la Tierra. Es importante señalar que no se requieren detalladas formalizaciones de las teorías en sistemática filogenética para poder desarrollar las actividades con el enfoque filogenético. La simple organización de diversidad biológica en los cladogramas permite al profesor trabajar en conceptos tales como homología, modificación a través del tiempo y la ascendencia común, de esta manera el núcleo del pensamiento evolucionista se presenta con sencillez y permite a los estudiantes mantener contacto con una nueva forma de analizar y comprender la naturaleza.

Comentarios finales

Indudablemente el uso de estrategias como la desarrollada en la presente propuesta proporciona beneficios no solo a la enseñanza de la evolución biológica, sino también al aprendizaje de la misma. El tratar un tema tan controvertido en muchos sentidos (por ej. a qué nivel debería enseñarse) y poco comprendido (por su dificultad) de manera general como es la evolución biológica desde la perspectiva de la reconstrucción filogenética es solo un paso en un camino diferente hacia la resolución de los problemas de la educación en biología.

El profesor debe apoyarse en estrategias que se distingan de las clásicas clases tradicionales, para reforzar conceptos que parecen muy sencillos y de fácil comprensión, pero que cuando exploramos el grado de comprensión que tienen los estudiantes sobre ellos nos damos cuenta de que no sólo les resultan incomprensibles sino que además las ideas previas o preconcepciones que tenemos arraigadas desde muy temprana edad complican aún más su comprensión. El comprometer a los estudiantes con su propio aprendizaje y considerarlos como aprendices activos, que se encarguen de tareas significativas para ellos, que puedan reflexionar y pensar de manera crítica a través de aprendizaje colaborativo los hace sentirse mucho más motivados y dispuestos al trabajo escolar de esta manera los procesos de comparación, clasificación, reconstrucción y comunicación de resultados favorecen estas habilidades.

El concepto mismo de evolución es uno de los más difíciles de comprender y revisar los conceptos de adaptación, selección natural, variación, deriva génica, extinción, especiación, etc. es inútil si no se relacionan entre sí.

En el desarrollo del presente trabajo el instrumento usado para evaluar el impacto de la secuencia didáctica fue un instrumento que finalmente no reflejó los avances de los estudiantes después de aplicar la secuencia, aunque se pensó en que las preguntas fueran abiertas para que los estudiantes pudieran expresar sus ideas acerca de los conceptos tratados. De cualquier manera el instrumento no reflejó todos los conceptos revisados en las actividades, por lo que se sugiere construir uno nuevo que incluya todos los conceptos a revisar si se pretende aplicar la secuencia didáctica descrita.

Los resultados obtenidos demuestran que en el proceso de enseñanza-aprendizaje es importante tomar en cuenta las ideas iniciales de los estudiantes, ya que de otra manera no se puede conocer desde qué momento se parte y rediseñar las estrategias haciendo énfasis en aquellas concepciones que tienen que ser replanteadas.

Fue posible percibir cambios significativos en el manejo conceptual, en el desarrollo de habilidades y en la motivación de los estudiantes que trabajaron en la secuencia didáctica presentada.

Para el docente es tan importante el manejo conceptual de los contenidos, como la forma en que esos contenidos son revisados en el aula, es decir, la formación pedagógica. De tal manera que el conocimiento formado y apropiado por el docente y para el docente no se quede con él, sino que pueda funcionar como guía para que otros, en este caso los estudiantes logren a través de sus propias construcciones hacer suyos conocimientos que más tarde puedan aplicar a un sinnúmero de situaciones que se les presenten en la vida y llegar a ser personas que se inserten y desarrollen con éxito en las sociedades actuales.

La aplicación de la secuencia didáctica tiene ciertas limitaciones, una de ellas es que la actividad 2 se realiza con una computadora conectada a internet y desafortunadamente en nuestro país no todos los planteles de educación media superior cuentan con ese requisito, aún así se puede cumplir la secuencia realizando la actividad 1 que está planeada para usar sólo recursos básicos en un salón de clases.

Anexos

Anexo 1.

Tabla A1. Preguntas abiertas incluidas en el instrumento de evaluación usado como pre y postest.

Preguntas incluidas en el instrumento de evaluación
1. ¿Qué es evolución?
2. ¿Qué es una especie biológica?
3. ¿Cómo sabemos que hay evolución?
4. Describe brevemente la teoría de J.B. Lamarck acerca de la herencia de caracteres adquiridos.
5. Describe brevemente la teoría de C. Darwin acerca de la evolución de las especies.
6. ¿Qué causa la evolución?
7. ¿Qué es especiación?
8. ¿Qué son órganos homólogos?
9. ¿Qué son órganos vestigiales?
10. ¿Qué es un árbol evolutivo?

Anexo 2.

Tabla A2. Escala de rango para evaluar el trabajo desarrollado en quipo

Nombre del estudiante _____

Actividad _____ Fecha _____

Trabajo en equipo	Nada 5	Poco 6	Suficiente 8	Mucho 10
Escucha y aprende de los otros				
Escucha sin interrumpir				
Prepara sus lecturas e investigaciones				
Interviene con frecuencia				
Se entera de los avances del equipo				
Se muestra interesado en el trabajo desarrollado en el equipo				
OBSERVACIONES				

Anexo 3.

Tabla A3. Rúbrica para evaluar el desempeño de los estudiantes durante la presentación de sus resultados

Equipo _____

Actividad _____ Fecha _____

Criterios a evaluar	Excelente 10	Bueno 8	Regular 6	Deficiente 5
Comprensión	Manifiesta la clara comprensión de conceptos al reconocer las interacciones y relaciones entre la información que maneja, se observa el uso del vocabulario científico revisado.	Manifiesta la comprensión clara de algunos conceptos, lo demuestra a través de sus relaciones	Manifiesta la comprensión incompleta de conceptos, sin reconocer sus interacciones y/o relaciones	No logra demostrar que comprende el concepto
Ejemplificación	Incluye ejemplos e información complementaria usando esos ejemplos para relacionarlos con la información que explica	Ofrece alguna información adicional y algunos ejemplos sin relacionarlos directamente con lo que explica	Provee información incompleta pero relacionada con el tema	Usa inadecuadamente los términos en sus ejemplos.
Presentación de la información	Clara y precisa, relaciona la información con los conceptos estudiados	La mayor parte de la información fue presentada de manera clara, y se muestra la habilidad para relacionar la información con los conceptos estudiados.	La información se presenta incompleta y sin relaciones.	La información se presenta en desorden, incompleta y sin relaciones.
Contenido	Las ideas que se presentan tienen relación directa con el tema, identificando los componentes y mencionando los detalles importantes a su explicación. .	Casi todas las ideas que se presentan tienen relación con el tema, se identifican algunos de los componentes importantes a su explicación.	Las ideas presentadas no tienen suficiente relación con el tema, no se observan los componentes importantes a su explicación	Las ideas que se presentan tienen poca o ninguna relación con el tema, están pobremente definidas.
Conclusión	La explicación incluye una conclusión acerca de la actividad realizada que está relacionada con el tema y los objetivos de la actividad	Termina la presentación con una conclusión relacionada con el tema.	Termina la presentación con una conclusión satisfactoria aunque incompleta.	No es capaz de lograr extraer una conclusión o es muy deficiente.
Material de apoyo	Incluye en su presentación material como esquemas o imágenes como apoyo que son visibles por todo el grupo, haciendo siempre referencia a ellas.	Incluye en su presentación material de apoyo visible a todo el grupo.	Incluye en su presentación materiales de apoyo que no se ven o no hace referencia a ellas.	No incluye materiales de apoyo para su presentación.

Anexo 4.

Tabla A4. Escala de rango para evaluar los desempeños de los estudiantes durante la primer actividad

Evaluación de habilidades

Equipo _____

Actividad _____

Fecha _____

Criterios de logro	Muy bien	Bien	Regular	Deficiente
Clasifica según uno o varios criterios				
Relaciona la información con los conocimientos adquiridos				
Formula deducciones, explicaciones o hipótesis				
Describe lo estudiado usando un lenguaje científico, logra explicar argumentar usando el conocimiento adquirido				
Establece una conclusión				

Anexo 5.

Tabla A5. Preguntas propuestas para completar la evaluación de las actividades

PREGUNTAS PARA EVALUACIÓN

Propósito de la pregunta

<p>Reflexionar sobre las actividades realizadas:</p> <p>1. En las actividades que realizaste se incluyen dos árboles evolutivos ¿ambos son iguales? si consideras que no son iguales, anota en que aspectos no lo son:</p>
<p>Fomentar el razonamiento:</p> <p>2. De los dos árboles que se construyeron en el desarrollo de las actividades ¿Cuál de los dos modelos (árboles evolutivos) te parece mejor? ¿Por qué razón?</p>
<p>3. Imagínate como pudo haber sido el ancestro de ¿Qué características morfológicas pudo haber tenido el ancestro de los organismos con presencia de columna vertebral?</p> <p>Para construir el árbol evolutivo basados en caracteres moleculares se usó ARNr 18S ¿Por qué razón se usó ese carácter en específico?</p>
<p>4. Supón que a los ejercicios realizados se agrega una bacteria, ¿en donde crees que quedaría ubicada dentro del árbol que construiste? ¿Qué tipo de caracteres usarías para ubicarla dentro del árbol?</p>
<p>Verificar lo que ha comprendido el estudiante:</p> <p>5. Anota las hipótesis que construiste durante el desarrollo de los ejercicios:</p>
<p>6. ¿Qué evidencias usaste para construir esas hipótesis?</p>
<p>7. Los organismos que estuviste investigando en las actividades ¿descienden todos de un mismo ancestro? ¿Cómo lo sabes?</p>
<p>8. Trata de explicar cómo fue que a partir de la forma del ancestro se originaron todos los descendientes:</p>
<p>9. ¿Por qué razón se encuentra el búho junto al cocodrilo en el árbol evolutivo? ¿Qué características comparten?</p>
<p>10. ¿Por qué razón se encuentra el ser humano junto al ratón? ¿Qué características comparten?</p>
<p>Fomentar la autoevaluación:</p> <p>11. ¿Te quedaron dudas al final de las actividades? Anótalas:</p>

Referencias

- Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N. G. (2000). "**Improving science teachers' conceptions of nature of science: A critical review of the literature**". *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-702.
- Abd-El-Khalick, F., Waters, M., & An-Phong, L. (2008). **Representations of nature of science in high school chemistry textbooks over the past four decades**. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 835–855.
- Aleijandre, M.P.J. (1994). **Teaching evolution and natural selection – a look at textbooks and teachers**. *Journal of Research in Science Teaching*, 31:519-535.
- Alles, D.L. (2001). **Using evolution as the framework for teaching biology**. *The American Biology Teacher*, 63:20-23.
- Anderson, D.L.; Fisher, K.M. y Norman, G.J. (2002). **Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection**. *Journal of research in science teaching*, 39(10):952-978.
- Antolin, M. E. y Herbers, J. M. (2001). **Perspective: evolution's struggle for existence in American's public schools**. *Evolution* 55 (12):2379-2388.
- Arnaut Alberto y Giorgulli Silva. (2010). **Los grandes Problemas de México**. 684p. Volumen II. *Educación. El Colegio de México*, 2010. México.
- Bairoch, A. y Apweiler, R. (2000). **The SWISS-PROT protein sequence database and its supplement TrEMBL in 2000**. *Nucleic Acids Research*, 28, 45-48.
- Benson, D.A., Boguski, M.S., Lipman, D.J., Ostell, J., Ouellette, B.F., Rapp, B.A. y Wheeler, D.L. (1999). **GenBank**. *Nucleic Acids Research*, 27, 12-17.
- Baum D. A. y S. Offner (2008). **Phylogenies & tree-thinking**. *The American Biology Teacher*, Volume 70, No. 4, April 2008.
- Baum, D.A.; Smith, S.D. y Donovan, S.S.S. (2005). **The tree thinking challenge**. *Science*, 310:979-980.
- Bell, R.L. (2004). **Perusing Pandora's Box: Exploring the what, when, and how of nature of science instruction**. In L. Flick & N. Lederman (Eds.), **Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education** (pp. 427-446). The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Bishop B. y Anderson Ch.(1985) **Students conception of natural selection and its role in evolution**. En *Journal of Research Teaching*, Vol. 27, Número 5. pp. 415-427.

- Bishop, B.A. y Anderson, C.W. (1990). **Student conceptions of natural selection and its role in evolution.** *Journal of research in science teaching*, 27(5):415-427.
- Bizzo, N.M.V. (1994). **From down house landlord to Brazilian high school students-what has happened to evolutionary knowledge on the way?** *Journal of Research in Science Teaching*. 31:537-556.
- Brumby M. (1979). **Problems in learning the concept of natural selection**, en *Journal of Biological Education*, Vol. 13. Número 2, pp. 119-122.
- Brumby M. (1984). **Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students.** en *Science education*, vol. 68, Número 4, pp. 493-503.
- Burks R.L. y L. C. Boles. (2007). **Evolution of the chocolate bar: a creative approach to Teaching Phylogenetic relationships Within Evolutionary Biology.** *The American Biology Teacher*. Volumen 69, Número 4. Abril.
- Bybee, R. (1997). *Achieving Scientific Literacy: From Purposes to Practices*. Portsmouth, NH: Heinemann Educational Books.
- Calatayud, M.L., D. Gil y J.V. Gimeno (1992). **Cuestionando el pensamiento espontáneo del profesorado universitario: ¿las deficiencias de la enseñanza secundaria como origen de las dificultades de los estudiantes?**, *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado* 14, 71-81.
- Campanario, J. M. y A. Moya (1999). **¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas.** *Enseñanza de las ciencias*, 1999, 17 (2), 179-192 179
- Campanario, J. M. y J. Otero (2000). **Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias.** *Enseñanza de las ciencias*. 2000, 18 (2), 155-169 155.
- Campo D. y E. Garcia-Vazquez (2008) **Inquiry-based learning of molecular phylogenetics** *JBE* | Volumen 43 Número 1.
- Carretero, M. y Limón, M. (1997). **Problemas actuales del constructivismo. De la teoría a la práctica.** En M. Rodrigo y J. Arnay (Comp.). *La construcción del conocimiento escolar*. Barcelona. (España): Paidós. pp. 137-153.
- Chinsamy, A. y Plagányi, E. (2008). **Accepting evolution.** *Evolution*. 62(1):248-254.
- Contreras-Ramos, A.; C. Cuevas-Cardona; I. Goyenechea; U. Iturbide (2007) **La sistemática base del conocimiento de la biodiversidad.** Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Primera edición. México.

- Darwin, C. (1958). **On the tendency of species to form varieties, and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection.** *Journal of the proceedings of the Linnean Society, Zoology*, 3:45-62. Recuperado el 20 de septiembre de 2012 desde: http://darwin-online.org.uk/pdf/1858_species_F350.pdf
- Darwin, C. (1859). **On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favored races in the struggle for life.** John Murray, London. Recuperado el 12 de septiembre de 2012 desde: http://darwin-online.org.uk/pdf/1859_Origin_F373.pdf.
- Demastes, S.S.; J. Settlage y R. Good (1995). **Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: Cases of replication and comparison.** *Journal of Research in Science*.
- Doolittle, W.F. (1999). **Phylogenetic classification and the universal tree.** *Science*, 284:2124-2128.
- FAO. 2010. **La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura**, editado por Barbara Rischkowsky y Dafydd Pilling. Roma. Recuperado el 10 de agosto desde: <http://www.fao.org/docrep/011/a1250s/a1250s00.htm> (traducción de la versión original en inglés, 2007).
- Fernández I., Gil, D., Vilches, A., Valdés, P., Cachapuz, A., Praia, J. y Salinas J. (2003). **El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia.** *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2(3). En línea <http://www.saum.uvigo.es/reec/>
- Ferrari, M. y Chi, M.T.H. (1998). **The nature of naive explanations of natural selection.** *International Journal of Science Education*, 20(10):1231 - 1256.
- Flory, S.L., Ingram, E. L., Heidinger, B. J. y Tintjer, T. (2005). **Hands-on in the nonlaboratory classroom: reconstructing plant phylogenies using morphological characters.** *American Biology Teacher*, 67, 542-548.
- Fuller, S. (1997). **Science.** Buckingham: Open University Press.
- Galicia Pérez (2003): **¿Qué es la ciencia?** Madrid: Cambridge University Press.
- Gil-Pérez, D.; Guisasola, J.; Moreno, A.; Cachapuz, A.; Pessoa de Carvalho, A.; Torregrosa, M.; Salinas, J.; Valdés, P.; González, E.; Duch, A.; Dumascarré, A.; Tricárico, H. y Gallego, R. (2002). **Defending Constructivism in Science Education.** *Science and Education*, 11:557-571.
- Gould, S.J. (1994). **Evolution as Fact and Theory**, Primera impresión mayo 1981 34-37; Reimpreso en 1994, New York: W. W. Norton and Company, 1994, pp. 253-262.
- Gould, S.J. (2002). **The structure of evolutionary theory.** The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge.

- Grau R. y J. de Manuel (2002). **Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos.** *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. n. 32. pp. 56-64.
- Green, E. (1990). **The logic of University students misunderstanding of natural selection,** en *Journal of Researc Science Teaching*, Vol. 27. Número 9, pp. 875-885.
- Harrison C. J. y J. Langdale.(2006). **A step by step guide to phylogeny reconstruction.** *The Plant Journal* (2006) 45, 561–572 DOI: 10.1111/j.1365-313X.2005.02611.x
- Hennig, W. (1966). **Phylogenetic Systematics.** University of Illinois Press, Urbana.
- Hernández Requena, S. (2008). **El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje.** En: Comunicación y construcción del conocimiento en el nuevo espacio tecnológico [monográfico en línea]. *Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC)*. Vol. 5, n.º 2. UOC. Recuperado: 18/08/2011 desde:<http://www.uoc.edu/rusc/5/2/dt/esp/hernandez.pdf> ISSN 1698-580X
- Hernández-Rodríguez M. C. y R. Ruiz-Gutiérrez. (2000). **Kuhn y el aprendizaje del evolucionismo biológico.** *Perfiles Educativos, Año/Volumen XXII, número 89-90,* Universidad Nacional Autónoma de México. DF. México. Pp. 92-114.
- Hernández R. M. C.; E. Álvarez P. y Ruiz G. R. (2009). **La selección natural: aprendizaje de un paradigma.** *Teorema*. Vol. XXVIII/2, 2009 ,pp.107-121.
- Hillis, D. M. (1987). **Molecular versus morphological approaches to systematics.** *Annual Review of Ecology and Systematics* 18: 23-42.
- Hillis, D.M. (2004). **Assembling the Tree of Life.** En Cracraft, J. y Donoghue, M.J.USA.
-
- Irwin, A. (1995). **Citizen science - A Study of People, Expertise and Sustainable Development.** London: Routledge.
- Jenkins, E. (1997). **Towards a functional public understanding of science.** En R. Levinson y J. Thomas (Eds.): **Science today: Problem or crisis?** , (pp. 137–150). London: Routledge.
- Jensen, M.S. y Finley, F.N. (1996). **Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instructional Strategies.** *Journal of research in science teaching*, 33(8):879-900.
- Jiménez García L. F. (coordinador), A. Argueta Villamar, E. A. Delgadillo Cárdenas, R. Noguera Solano, J. S. Núñez Farfán, I. Quiroz Amenta, R. Ruiz Gutiérrez, M. Saldaña García, M. J. Segura Gortares.(2008)**Conocimientos Fundamentales para la Enseñanza Media Superior “Una propuesta de la unam para su bachillerato”** Universidad Nacional Autónoma de México , Secretaría General Secretaría de Desarrollo Institucional, Consejo Académico del Bachillerato, Escuela Nacional Preparatoria,Colegio de Ciencias y Humanidades.

- Kalman, C.S. (2002). **Developing critical thinking in undergraduate courses: a philosophical approach.** *Science and Education*, 11:83-94.
- Kluge, A. G. y A. J. Wolf. (1993). **Cladistics: what's in a word?** *Cladistics* 9: 183-199.
- Kuhn, T.S. (1962). **The structure of scientific revolutions.** Chicago: University of Chicago Press, Chicago.USA.
- Laburú, C.E.; Arruda, S.M. y Nardi, R. (2003). **Pluralismo metodológico no ensino de ciências.** *Ciência & Educação*, 9(2):247-260.
- Larson, E.J. (2006). **Evolution: the remarkable history of a scientific theory.** The Modern Library. New York. USA.
- Lederman, N.G. (1999). **Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship.** *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 916-929.
- Lederman, N. G. (2007). **Nature of science: Past, present, and future.** En S.K. Abell, y N.G. Lederman, (Editors), *Handbook of research in science education* (pp 831-879). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Publishers.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., y Schwartz, R. S. (2002). **Views of nature of science questionnaire (VNOS): Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science.** *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 497-521.
- Lerner, L.S. (2000). **Good and bad science in US schools-one-third of US states have unsatisfactory standards for teaching evolution.** *Nature*, 407: 287-290.
- Martin, M. (1976). **The relevance of philosophy of science for science education.** In: Cohen, R.S.; Hooker, C.A.; Michalos, A.C. y Van Evra, J.W. (Eds.), *Proceedings of the 1974 Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association.* Boston Studies in the Philosophy of Science, 32. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland, p. 293-300.
- Matthews, M. R. (1997). **Editorial,** *Science & Education*, 6, 3232-329.
- Matthew L. J. y H. L. Schoenfuss.(2006). **Phylogenetic Reconstruction as a Broadly Applicable Teaching Tool in the Biology Classroom. The Value of Data in Estimating Likely Answers.** *Journal of College Science Teaching*.
- Mayr E. 2000. **Darwin's influence on modern thought.** *Scientific American*. 283:66-71.
- Mayr E.. 2005. **Así es la Biología.** Debate. México.

- McComas W.F., Clough, M.P. y Almazroa, H. (1998). **The Role And Character of The Nature of Science in Science Education.** En W.F. McComas (Ed.): **The Nature Of Science In Science Education. Rationales and Strategies**, (pp. 3-39). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Medina-Pons F.J. J. Terrados, A. López-López. P.Yarza. y R. Rosselló- Móra (2009) **Evaluation of the 18S rRNA clone library approach to study the diversity of the macroeukaryotic leaf-epiphytic community of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile.** 156:1963–1976 DOI 10.1007/s00227-009-1221-2.
- Millar, R. (1996). **Towards a science curriculum for public understanding.** *School Science Review*, 77, 7-18.
- Morphy D. S. C. y A. R. Calor. (2008). **Using the logical basis of phylogenetics as the framework for teaching biology.** *Papéis Avulsos de Zoologia*. Volume 48(18):199-211.
- Moritz, C. y D. M. Hillis. (1996). **Molecular systematics: context and controversies, pp. 1-13. En: D. M. Hillis, C. Moritz y B. K.Mable (eds.).** *Molecular systematics*, 2da ed. Sinauer Associates, Inc., Sunderland.
- **National Science Education Standards**, National Committee on Science Education Standards and Assessment, National Research Council. ISBN: 0-309-54985-X, 272 pages, 8 1/4 x 10 1/2, (1996) PDF. Recuperado el 5 de mayo desde: <http://www.nap.edu/catalog/4962.html>
- Offner, S. (2001). **A universal phylogenetic tree.** *The American Biology Teacher*, 63(3), 164-170.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliff e, M., Millar, R. y Duschl, R. (2003). **What “ideas-about-science” should be taught in school? A Delphi study of the expert community.** *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 692-720.
- Passmore, C. y Stewart, J. (2002). **A modeling approach to teaching evolutionary biology in high schools.** *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3):185-204.
- Patterson, C., D. M. Williams y C. J. Humphries. (1993). **Congruence between molecular and morphological phylogenies.** *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 153-188.
- Piaget, J. (1955). **La representación del mundo en el niño.** Madrid: Morata 1978.
- PISA (2006) **Competencias científicas para el mundo del mañana** 4 de diciembre de 2007. Nota informativa para México. Recuperado el 13 de mayo de 2010 desde: <http://www.oecd.org/dataoecd/16/21/39723468.pdf>.
- PISA (2006) **PISA en México.** Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. Primera edición 2007 pp. 92 y 96. 344 páginas totales.

- PISA (2006) **Aptitudes para las ciencias hacia el mundo del mañana**. Nota informativa para México. Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE).
- PISA (2009) **PISA en México**. Autores del informe: M. A. Díaz Gutiérrez, G. Flores Vázquez, D. Canales Sánchez, R. Solís González, Y. de la Cruz Hernández y P. Morelos Mora. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación INEE. México 2010.
- Pozo Municipio J. I. y M. A. Gómez Crespo. (2009). **Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico**. Ediciones Morata, sexta edición. España.
- Pozo Municipio J. I., N. Schever, M. Pérez Echeverría, M. Mateos, E. Martín, M. de la Cruz. (2006). **Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje. Las concepciones de profesores y alumnos**. Ed. Crítica y fundamentos, GRAÓ. España 2006.
- Presidencia de la República (2011). **Quinto informe de gobierno FCH, anexo estadístico** Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México, septiembre de 2011.
- Puterbaugh, M. N. y J. G. Burleigh. (2001). **Investigating evolutionary questions using online molecular databases**. *The American Biology Teacher* 63:6422–431. DOI:10.1662/0002-7685(2001)063[0422:IEQUOM]2.0.CO;2.
- Rieppel, O. (2005). **Monophyly, paraphyly, and natural kinds**. *Biology and Philosophy*, 20:465–487.
- Scott, E.C. (1997). **Antievolution and creationism in the United States**. *Annual Review of Anthropology*. 26:263-289.
- SEP, (1989). **El Programa para la Modernización Educativa 1989-1994**. México, Secretaría de Educación Pública-Poder Ejecutivo Federal.
- SEP, (2008). **Sistema educativo de los Estados Unidos Mexicanos**. México, Secretaría de Educación Pública. Recuperado el 17 de septiembre de 2009 desde <http://dgpp.sep.gob.mx/Estadi/Principales%20cifras%202006-2007%20gris1.pdf>.
- Settlage J. y M. Jensen. (1996). **Investigating the inconsistencies in college student responses to natural selection test questions**, en *The Electronic Journal of Science Education*, Vol. 1, Número. 1.
- Settlage, J. (1994). **Conceptions of natural selection: a snapshot of the sense-making process**. *Journal of Research in Science Teaching*, 31:449–458.
- Sibley, C. G. y J. E. Ahlquist. (1987). **DNA hybridization evidence of hominid phylogeny: results from an expanded data set**. *Journal of Molecular Evolution* 26: 99-121.

- Székely P. M. (2009). **Avances y transformaciones en la Educación Media Superior**. México. Recuperado el 25 de mayo de 2010 desde: <http://virtual.chapingo.mx/prope/lecturas/avances.pdf>.
- Tamura K, Dudley J, Nei M, Kumar S. **MEGA4: molecular evolutionary genetic analysis (MEGA) software version 4.0**. *Mol Biol Evol*. 2007; 24:1596–9.
- Teaching About Evolution and the Nature of Science. Working Group on Teaching Evolution, National Academy of Sciences. ISBN: 0-309-53221-3, 150 pages, 8.5 x 11, (1998) PDF recuperado el 8 de marzo de 2010 desde: <http://www.nap.edu/catalog/5787.html>
- Thomas, J. (2000). **Learning about genes and evolution through formal and informal education**. *Studies in Science Education*, 35:59-92. Traducción de E. Pérez Sedeño y N.
- Trowbridge y Wandersee (1994). **Identifying critical junctures in learning in a college course on evolution**. *En Journal of Research in Science Teaching*. Vol. Número 5, pp. 459-473.
- Valiente F. E.(2002) **Hacia un Nuevo Concepto de Evolución**. (c) Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc). <http://arbor.revistas.csic.es>
- Vázquez-Alonso Á., J. A. Acevedo-Díaz y M. A. Manssero-Mas (2004) **Consensos sobre la naturaleza de la ciencia, evidencias e implicaciones para su enseñanza**. Universidad de las Islas Baleares. España. *Revista Iberoamericana de Educación*. (ISSN: 1681-5653) OEI. Recuperado el 19 de abril de 2010 desde: <http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.PDF>
- Villani, A. (2001). **Filosofia da ciência e ensino de ciências: uma analogia?** *Ciência & educação*, 7(2):98-110.
- Vygotsky, I. S. (1978). **Mind in society**. Cambridge, MA.: Harvard University Press.
- Jonassen, David H. (1994). **Thinking Technology: Toward a constructivist design model**. *Educational Technology*.
- Wallace, A.R. (1858). **On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type**. *Proceedings of the Linnean Society of London*, 3:53-62.
- Wiley, E. O. (1981). **Phylogenetics. The theory and practice of phylogenetic systematics**. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Ziman, J. (2000). **Real science: What it is and what it means**. Cambridge: Cambridge University Press.

- Zorrilla Alcalá J. F. (2008). **El bachillerato mexicano: un sistema académicamente precario. Causas y consecuencias.** Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones sobre la universidad y la educación (ISSUE).
- Zuzovsky, R. (1994). **Conceptualizing a teaching experience on the development of the idea of evolution: An epistemological approach to the education of science teachers.** *Journal of Teaching*, 32(5):535-550.

Referencias electrónicas

- http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/phylogenetics_02 Recuperado el 14 de octubre de 2009.
- <http://evolution.berkeley.edu/evosite/evo101/IIIntro.shtml>. Recuperado el 20 de octubre de 2010.
- NAS Teaching About Evolution and the Nature of Science, 1998. http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=5787. Recuperado el 4 de junio de 2010.
- Teaching the Nature of Science: Three Critical Questions By Randy L. Bell, Ph.D., http://www.ngsp.com/Portals/0/downloads/SCL22-0449A_AM_Bell.pdf Recuperado el 8 de mayo de 2010.
- <http://www.megasoftware.net/> Recuperado el 15 de octubre de 2009.
- <http://www.eduteka.org/pdfdir/MENDocumentoCiencias.pdf> Recuperado el 5 de abril de 2009.
- INEGI, Censo de población y vivienda 2010. <http://www.censo2010.org.mx/> Recuperado el 12 de octubre de 2011
- OCDE, 2009. <http://www.pisa.oecd.org/dataoecd/58/51/39730818.pdf>. Recuperado el 17 de octubre de 2009.

- Ministerio de Educación Nacional, Colombia, 2006. Recuperado el 7 de octubre de 2009 desde : www.seduca.gov.co/index.php/component/.../doc.../1240-doc3.html.
- <http://www.sesbe.org/evosite/evo101/Intro.shtml.html> Sociedad española de Biología Evolutiva. Recuperada el 5 de septiembre de 2011.