



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR**

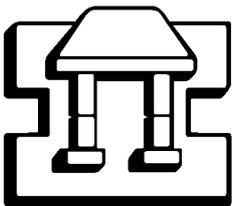
**“Análisis del pensamiento evolutivo,
presente en alumnos de bachillerato, para
la mejora del proceso de enseñanza-
aprendizaje”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR (BIOLOGÍA)**

PRESENTA

JULIO PÉREZ CAÑEDO



**DIRECTORA DE TESIS:
MARÍA EUGENIA ISABEL HERES Y PULIDO**

2011



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.

Resumen

La teoría de la evolución es una visión trascendental sobre el origen de los seres vivos, pero para algunas personas o grupos no es aceptable a pesar de la cantidad de evidencias que la apoyan. Esta teoría explica y fundamenta la diversidad biológica, y su comprensión es indispensable para promover la conservación de las diferentes manifestaciones de la vida. El Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la UNAM tiene como objetivo que los alumnos de Biología IV puedan entender que las especies son el resultado de la evolución y que expliquen por sí mismos el origen de la biodiversidad. Sin embargo, diversos estudios muestran que en la enseñanza no se vinculan los conceptos evolutivos con sus procesos, ni con el origen de la biodiversidad, así como la resistencia de los estudiantes para aceptarlos. No obstante lo anterior, se establece que los graduados del CCH han incorporado estos conceptos a su contexto personal y social. Para verificar lo anterior se aplicó a siete grupos de Biología IV, un cuestionario antes y después del curso, para analizar estadísticamente: (i) los contenidos declarativos relacionados con esta teoría, (ii) la comprensión de los procesos evolutivos, (iii) la aplicación, de los contenidos aprendidos, a algunas situaciones cotidianas, (iv) los errores conceptuales, (v) las características socioeconómicas y educativas de los estudiantes. Los conceptos y procesos menos entendidos fueron: la especiación, la transmisión de la información genética, el origen de la biodiversidad y la deriva genética. El análisis de correlación entre los aspectos socioeconómicos y la situación académica de los estudiantes mostró que sólo el número de cursos reprobados se asoció con las dificultades de aprendizaje. La mayoría de los alumnos pasaron de la descripción de los conceptos a su asociación y aumentaron su vocabulario científico, pero no pudieron explicar diversos fenómenos relacionados con la evolución biológica y el origen de la biodiversidad. Se concluye que los objetivos de la asignatura se cumplieron parcialmente, y que nuestros resultados no mostraron una correlación con los factores socioeconómicos.

Abstract

The evolutionary theory is a transcendental vision about the origin of living things, but for some people or groups it is unacceptable despite the amount of evidences supporting it. This theory explains and fundamentes the biological diversity, and their comprehension is indispensable in order to promote the conservation of the different manifestations of the living. The College of Sciences and Humanities (CCH) at UNAM has as an objective that Biology IV's students can understand that the species are the result of evolution and that they explain by themselves the origin of biodiversity. However, diverse studies shown that in teaching there are not linked the evolutionary concepts with their processes neither with the origin of biodiversity, as well as resistance by the students to accept them. Notwithstanding the foregoing, it is stated that graduates of the CCH have incorporated these concepts to their personal and social context. To verify the above it was applied to seven groups of Biology IV, a questionnaire before and after the course, to statistically analyze: (i) the declarative contents related to this theory, (ii) understanding of evolutionary processes, (iii) the application of the contents learned, to some everyday situations, (iv) the conceptuales errors, (v) socioeconomic and educational characteristics of the students. The concepts and processes least understood were: the speciation, the transmission of the genetic information, the source of biodiversity and the genetic drift. The analysis of correlation between the socioeconomic aspects and the academic situation of the students showed that only the number of reprobate courses was associated with the learning difficulties. Most of the students changed from the description of the concepts to their association and they increased their scientific vocabulary, but they could not explain various phenomena related to biological evolution and the origin of biodiversity. It is conclude that the objetives of the subject were partially fulfilled and that our results showed no correlation with the socioeconomic factors

Índice

<i>Introducción</i>	3
Modelo Educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)	6
El área de Ciencias Experimentales	6
El estudio de la Biología en el Colegio de Ciencias y Humanidades	7
Propósitos generales de la materia de Biología	8
Contenidos temáticos de los cursos de Biología del Colegio de Ciencias y Humanidades	11
<i>Historia del concepto de evolución y la biodiversidad</i>	18
Precusores del concepto de la evolución biológica	19
Neolamarckismo	30
Teoría sintética de la evolución	31
Equilibrios puntuados	33
Historia del concepto de biodiversidad	34
¿Cómo se explicaba la biodiversidad antes de Darwin?	36
¿Cómo se explica la biodiversidad desde el punto de vista darwiniano?	38
<i>Justificación</i>	39
<i>Hipótesis</i>	40
<i>Problema de investigación</i>	40
<i>Objetivo general</i>	41
<i>Objetivos particulares</i>	41
<i>Método</i>	42
<i>Resultados</i>	50
<i>Discusión</i>	80
<i>Conclusiones</i>	100

Introducción

Diversos autores coinciden en que uno de los factores principales que contribuyen al desarrollo de la educación es la expansión de la democracia y, con ella, la demanda masiva por el servicio educativo. Por otro lado, en las últimas décadas la globalización de la economía y la decreciente demanda por el trabajo manual han hecho del conocimiento un “bien de capital”, de tal suerte que la riqueza de un país ha dejado de medirse en función de sus recursos naturales, para hacerlo de acuerdo al conocimiento que posee. Luego entonces, se puede afirmar que los saberes son actualmente un bien estratégico para las sociedades (Castañón, 2000).

Dentro del sistema educativo nacional, el bachillerato tiene gran importancia por diversas razones: constituye el último nivel de estudios orientados a dotar al individuo de una formación integral; el grupo de edad que atiende, es decir, la adolescencia, es una etapa fundamental para la consolidación de la personalidad madura del ser humano; es también la base para el desarrollo de vocaciones y para los estudios superiores, por lo que resulta sumamente importante estudiar, analizar y comprender todos los aspectos que lo conforman (Medina, 1996).

En nuestro país, la educación media superior ofrece a los egresados de la educación básica la posibilidad de continuar sus estudios y enriquecer su proceso de formación. En la actualidad, de cada cien jóvenes que concluyen la secundaria, 93 ingresan a las escuelas de educación media superior para adquirir conocimientos, destrezas y actitudes que les permitirán construir con éxito su futuro, ya sea que decidan incorporarse al mundo del trabajo o seguir con su preparación académica, realizando estudios superiores; es así que esta etapa en la formación educativa también desempeña un papel relevante en el desarrollo del país como promotor de la participación creativa de las nuevas generaciones, en la

economía y el trabajo, así como en los ámbitos de la familia, la vida comunitaria y la participación ciudadana (Velázquez, 2006).

La misión del nivel medio superior o bachillerato de la Escuela Nacional Preparatoria, el Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), y demás integrantes de este nivel educativo, es ante todo, que el alumno aprenda a pensar y recrear para sí la comprensión de su propio mundo y se convierta por ello en sujeto de su cultura (Bazán Levy, 2001). En este sentido, el CCH, desde su creación y desde la implementación de su primer Plan de Estudios (1971), se ha propuesto impartir educación de calidad, fomentando el desarrollo de habilidades académicas para cada una de sus asignaturas, dotando al alumno de una cultura integral básica, que al mismo tiempo que forme individuos críticos, creativos y útiles a su medio ambiente natural y social, los habilite para seguir estudios superiores.

En el Plan de Estudios Actualizados (PEA), se hace énfasis en el desarrollo de las capacidades del alumno de **aprender a aprender**, lo que significa que será capaz de adquirir nuevos conocimientos por cuenta propia; **aprender a hacer**, lo que significa que el aprendizaje incluye además el desarrollo de habilidades que le permitan poner en práctica sus conocimientos, y **aprender a ser**, donde se hace fuerte énfasis en el propósito de fomentar el desarrollo de los valores humanos, éticos, artísticos y cívicos. Mediante esta propuesta educativa, se pretende hacer de los alumnos, personas críticas, sensibles y sociales que tengan la capacidad de integrar acciones, pensamientos, palabras y pasión.

En el modelo educativo del CCH se reconoce en las materias de biología a la teoría evolutiva como una visión trascendental acerca del origen de lo vivo, pese a que algunas personas o grupos la encuentran inaceptable, a pesar del conjunto de pruebas científicas que la apoyan. Ésta explica y fundamenta la diversidad biológica, siendo indispensable su comprensión, para promover la conservación de las diferentes manifestaciones de lo vivo. Así, la materia de Biología IV, tiene como propósito que al final del curso los alumnos comprendan que las especies

son el resultado de la evolución y se expliquen el origen de la biodiversidad. Sin embargo, diversos estudios como los de Jiménez Aleixandre (1991), Jiménez Aleixandre y Fernández (1989), Cano-Santana (1995), Cortés (2006), entre otros han mostrado que en la docencia existe desvinculación entre los conceptos evolutivos, sus procesos, y el origen de la biodiversidad, así como resistencia por parte del alumnado a aceptarla. A pesar de lo anterior, oficialmente se afirma que los egresados del CCH han incorporado estos conceptos a su contexto personal y social. En este trabajo se revisó el modelo educativo del CCH, con la finalidad de analizar cuál es la visión y misión de este bachillerato, cómo se orienta el estudio de la Biología en éste y como son los distintos modelos de enseñanza de las ciencias. Asimismo, se hizo una reseña histórica del pensamiento evolutivo para contextualizar la teoría con el temario de Biología IV. Para cumplir con el objetivo de indagar si se cumplen los objetivos curriculares del CCH, y determinar los conceptos y procesos menos comprendidos, así como las posibles causas de ello, se aplicó a siete grupos de Biología IV, un cuestionario antes y después del curso, para analizar estadísticamente: (i) contenidos relacionados con dicha teoría; (ii) comprensión del proceso; (iii) aplicación de lo aprendido a una situación cotidiana; (iv) errores conceptuales; (v) características socioeconómicas y educativas del grupo estudiado. El análisis de los resultados mostró que el proceso enseñanza-aprendizaje de cuatro temas con conceptos tan complejos e interdependientes y su integración, bajo los fundamentos de la teoría, es un reto para el binomio maestro-alumno. Los errores conceptuales fueron corregidos por los docentes pero en la mayoría de los casos sin que los alumnos lograran utilizarlos para explicar la realidad biológica. La integración se logró, pero en porcentajes bajos. Los resultados de este trabajo podrán ser considerados por otros investigadores y profesores, para que propongan estrategias didácticas que promuevan, de mejor manera, el logro de los objetivos que pretende el PEA del CCH.

Modelo Educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)

El bachillerato del CCH es un bachillerato universitario, por lo que comparte con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en su ámbito propio, la responsabilidad de construir, enseñar y difundir el conocimiento en las grandes áreas de las ciencias y las humanidades.

Este modelo de bachillerato, debido a su configuración y a sus funciones específicas adquiere valor e identidad propia, la cual consiste en colaborar al desarrollo de la personalidad de sus alumnos atendiendo la formación reflexiva, ética y social.

El área de Ciencias Experimentales

El bachillerato del CCH, está integrado por cuatro áreas:

- Matemáticas
- Ciencias Experimentales
- Histórico-social
- Talleres de lenguaje y comunicación

El área de Ciencias Experimentales fue desarrollada con el fin de que los alumnos del Colegio incorporen estrategias de pensamiento flexibles, críticas y de madurez intelectual, con respecto al desarrollo de la ciencia y la tecnología. Se pretende además que los alumnos, a través de los conocimientos adquiridos, comprendan los fenómenos naturales que ocurren en su entorno o en su propio ser, y que elaboren explicaciones racionales y acordes con la visión científica.

El PEA propone imprimir a los cursos de dicha área, y en especial a las materias de Biología, una orientación cultural, y atender a los conceptos básicos y habilidades intelectuales del estudiante, con el fin de que aborde la ciencia y

aplique los conceptos científicos interpretando los fenómenos del mundo de una manera más científica, sistemática, creativa y responsable.

También se hace énfasis en que el alumno construya relaciones del tipo hombre-ciencia-naturaleza más armónicas, sustentables y comprometidas, buscando que adquiera una visión global de las ciencias y de la naturaleza al tiempo que incorpora el uso de la tecnología como una herramienta que impulse el desarrollo científico.

El estudio de la Biología en el Colegio de Ciencias y Humanidades

El estudio de la Biología, en los cursos del bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades, está orientado a conformar la cultura básica del estudiante en este campo del saber. Pretende contribuir a la formación del alumno mediante la adquisición de conocimientos y principios propios de la disciplina, así como propiciar el desarrollo de habilidades, actitudes y valores que le permitan enfrentar con éxito los problemas relativos al aprendizaje de nuevos conocimientos en este campo; además, busca enfatizar las relaciones sociedad-ciencia-tecnología para que se pueda desarrollar una ética de responsabilidad individual y social, que contribuya a establecer una relación armónica entre la sociedad y el ambiente.

El saber de la Biología no supone sólo la memorización de una serie de características de los sistemas vivos y de sus funciones, sino implica que el alumno incorpore en su manera de ser, de hacer y de pensar, una serie de elementos necesarios para desenvolverse en la vida diaria, que lo lleven a cambiar su concepción del mundo. En la materia de Biología, dentro del Colegio de Ciencias y Humanidades, los cursos tienen como principio que el alumno aprenda a generar mejores explicaciones acerca de los sistemas vivos por medio de la integración de los conceptos, los principios, las habilidades, las actitudes y los valores desarrollados en la construcción, reconstrucción y valoración de conceptos biológicos fundamentales (programas de estudio de Biología I a IV del CCH, UNAM). De esta manera, en la enseñanza de esta ciencia se han abordado

aspectos como: diseño y empleo de objetivos e intenciones de enseñanza, preguntas insertadas, ilustraciones, modos de respuesta, organizadores anticipados, redes semánticas, mapas conceptuales, prácticas en el aula y en campo, así como esquemas de estructuración de textos, entre otros (Díaz y Hernández, 1999).

Propósitos generales de la materia de Biología

De acuerdo al plan de estudios vigente y autorizado por el CCH, éstos son:

En el curso de Biología I se plantea que el alumno:

- Relacione las evidencias que fundamentan la teoría celular y el reconocimiento de la célula como unidad estructural y funcional de los sistemas vivos.
- Examine los procesos de regulación, conservación y reproducción en diferentes niveles de organización.
- Examine los mecanismos que permiten la transmisión y modificación de la información genética en los sistemas vivos.
- Relacione los conocimientos adquiridos sobre la tecnología del ADN recombinante con algunas aplicaciones de la manipulación genética.
- Interprete los fenómenos biológicos con base en explicaciones científicas relativas a la unidad de los sistemas vivos, los procesos que los caracterizan y los mecanismos que permiten su continuidad y diversidad genética.
- Aplique habilidades, actitudes y valores para la obtención, comprobación y comunicación del conocimiento, al llevar a cabo investigaciones.
- Desarrolle una actitud científica, crítica y responsable ante el avance y aplicación de los conocimientos biológicos en el campo de la genética.
- Desarrolle actitudes y valores relativos a una relación armónica con la naturaleza, al asumir que comparte aspectos con los demás sistemas vivos.

En el curso de Biología II se plantea que el alumno:

- Examine explicaciones y teorías que favorezcan la interpretación científica del origen y evolución de los sistemas vivos.
- Interprete la evolución como el proceso por el que los organismos han cambiado con el tiempo y cuyo resultado es la diversidad de los sistemas vivos.
- Examine las formas en que los organismos se relacionan entre sí y con su ambiente físico para permitir el funcionamiento del ecosistema.
- Relacione el incremento de la población humana con el deterioro ambiental, e identifique alternativas para el manejo racional de la biosfera.
- Se reconozca a sí mismo como parte de la naturaleza, a través del estudio de la biodiversidad y de la comprensión de las relaciones entre los sistemas vivos y su ambiente.
- Aplique habilidades, actitudes y valores para la obtención, comprobación y comunicación del conocimiento, al llevar a cabo investigaciones.
- Desarrolle una actitud científica, crítica y responsable ante el crecimiento de la población humana, su impacto en el deterioro ambiental y las alternativas para conservar la biodiversidad.
- Desarrolle actitudes y valores relativos a una relación armónica con la naturaleza, al asumir que es importante controlar el crecimiento poblacional y evitar el deterioro ambiental.

En el curso de Biología III se plantea que el alumno:

- Comprenda el papel del metabolismo en la diversidad de los sistemas vivos.
- Comprenda que los cambios que se producen en el material genético son la base molecular de la biodiversidad.
- Profundice en la aplicación de habilidades, actitudes y valores para la obtención, comprobación y comunicación del conocimiento científico, al llevar a cabo investigaciones.

-
- Desarrolle una actitud crítica, científica y responsable ante problemas concretos que se planteen.

En el curso de Biología IV se plantea que el alumno:

- Comprenda que la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad.
- Valore la biodiversidad de su país, las repercusiones de la problemática ambiental y las acciones para su conservación.
- Profundice en la aplicación de habilidades, actitudes y valores para la obtención, comprobación y comunicación del conocimiento científico, al llevar a cabo investigaciones.
- Desarrolle una actitud crítica, científica y responsable ante problemas concretos que se le planteen.

Contenidos temáticos de los cursos de Biología del Colegio de Ciencias y Humanidades

Conforme al plan de estudios vigente, se han diseñado, para cada uno de los cuatro semestres o cursos de la materia de Biología, las interrogantes siguientes a desarrollar y a comprender por los alumnos:

BIOLOGÍA I

Primera Unidad. ¿Cuál es la unidad estructural y funcional de los sistemas vivos?

Segunda Unidad. ¿Cómo se lleva a cabo la regulación, conservación y reproducción de los sistemas vivos?

Tercera Unidad. ¿Cómo se transmite y modifica la información genética en los sistemas vivos?

BIOLOGÍA II

Primera Unidad. ¿Cómo se explica el origen, evolución y diversidad de los sistemas vivos?

Segunda Unidad. ¿Cómo interactúan los sistemas vivos con su ambiente?

BIOLOGÍA III

Primera Unidad. ¿Cómo se explica la diversidad de los sistemas vivos a través del metabolismo?

Segunda Unidad. ¿Por qué se considera a la variación genética como la base molecular de la biodiversidad?

BIOLOGÍA IV

Primera Unidad. ¿Cómo se explica el origen de la biodiversidad a través del proceso evolutivo?

Segunda Unidad. ¿Por qué es importante la biodiversidad de México?

Tendencias en la enseñanza de las Ciencias

De acuerdo con Briscoe (1991), cada año miles de profesores asisten a cursos con la firme intención de perfeccionarse profesionalmente y poder utilizar nuevas técnicas y prácticas para favorecer el aprendizaje de sus alumnos; sin embargo, muchos de estos profesores se encuentran, antes de darse cuenta, enseñando de la misma forma en que lo habían hecho siempre (la enseñanza tradicional), lo cual –dicho sea de paso– no deja de ser un elemento de alta coherencia, aunque se ha demostrado que necesita del apoyo de otras herramientas como la realización de prácticas, la resolución de problemas, la elaboración de pequeñas investigaciones o la implementación de estrategias didácticas como los juegos lúdicos, entre otras (Gil-Pérez y cols., 1991). En 1999 Campanario y Moya realizaron un análisis crítico de los puntos de vista alternativos para la enseñanza de las ciencias y considerando ese trabajo se describen las siguientes tendencias:

Enseñanza tradicional. Este modo de enseñar es descriptivo y es considerado de aprendizaje memorístico y de repetición (rutinario). Teóricamente poco o nulamente aceptado desde hace décadas (Campanario y Moya, 1999).

Enseñanza por descubrimiento. Fue una de las primeras alternativas que se ofrecieron a la enseñanza repetitiva tradicional de las ciencias durante los años setenta. Este modo de enseñar alcanzó gran difusión en el momento en que se buscaban alternativas al aprendizaje memorístico y repetitivo (Campanario y Moya, 1999). Este tipo de aprendizaje se basa en las ideas de Jean Piaget, según las cuales “cada vez que se le enseña a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide inventarlo y, en consecuencia, entenderlo completamente” (citado en Pozo y Carretero, 1987, pág. 38). La enseñanza por descubrimiento hacía énfasis en la participación activa de los alumnos, en el aprendizaje y en la aplicación de los procesos de las ciencias.

Enseñanza basada en el uso de problemas. Este método se basa en la resolución de problemas por parte de los alumnos. No resulta tan sencillo debido a

que se debe ser cuidadoso en la elección de éstos y en la adecuada secuencia de los mismos, para lograr un aprendizaje significativo. Se propone para la enseñanza universitaria, aunque es conveniente analizarlo para aprovechar, las aportaciones que puedan ser útiles en la didáctica de las ciencias en la enseñanza básica (Campanario y Moya, 1999).

La dinámica interna de esta estrategia induce a los alumnos a crear un modelo mental relativo a la situación que se describe, y permite descubrir posibles alternativas y enfoques válidos para avanzar en la solución de los problemas o indagar posibilidades. Con este método no se espera que el propio alumno descubra los conocimientos científicos, sino que, la serie de problemas le orientará a aprender, a partir de diferentes fuentes, los contenidos que se estiman relevantes. El uso sistemático de los problemas da relevancia a los contenidos temáticos (Campanario y Moya, 1999).

Enseñanza basada en la investigación dirigida. Aunque la concepción del aprendizaje como un proceso de investigación no es nueva, en los últimos años las propuestas coherentes con esta idea han adquirido un desarrollo notable, especialmente desde posiciones llamadas constructivistas. De acuerdo con Gil-Pérez (1991), uno de los problemas de la enseñanza de las ciencias es la gran separación que existe entre las situaciones de enseñanza-aprendizaje y el modo en que se construye el conocimiento; en consecuencia, es útil ocupar la metáfora del *científico novel*, quien se integra en un grupo de investigación y en pequeñas investigaciones replica los trabajos previos en un área determinada y aborda problemas en los que sus supervisores son expertos (citado por Campanario y Moya, 1999).

Según Campanario y Moya (1999), Gil-Pérez y sus colaboradores (1991) proponen las siguientes estrategias para encaminar la generación de conocimiento y la enseñanza de las ciencias, con base en la investigación dirigida:

-
1. *Se plantean situaciones problemáticas que generen interés en los alumnos.*
 2. *Los alumnos estudian cualitativamente las situaciones problemáticas planteadas y, con la ayuda bibliográfica adecuada, comienzan a delimitar el problema y a explicitar ideas.*
 3. *Los problemas se tratan siguiendo una orientación científica, con emisión de hipótesis, elaboración de estrategias posibles de resolución y análisis y comparación con los resultados obtenidos.*
 4. *Los nuevos conocimientos se deben manejar y aplicar a nuevas situaciones para profundizar en los mismos y afianzarlos.*

Estrategias didácticas basadas en juegos. Como apoyo a la comprensión de los temas biológicos se ha sugerido el uso de nuevas estrategias didácticas que sirvan como una herramienta diseñada para promover la formación de ciudadanos alfabetizados científicamente, mediante la planificación de unidades didácticas innovadoras. En este contexto, los juegos didácticos son excelentes alternativas a los métodos tradicionales, porque permiten trabajar diferentes habilidades de los alumnos mezclando enseñanza y diversión, ya que hacen viable el desarrollo de aspectos cognitivos y de actitudes sociales como la iniciativa, la responsabilidad, el respeto, la creatividad y la comunicación, lo que los hace una herramienta de calidad para el mejoramiento del rendimiento escolar y la equidad en el conocimiento de los alumnos. Aunque por lo regular, se subvalora la enseñanza a través del juego, y se llega a considerar una estrategia inadecuada para transmitir conocimientos, siendo escasamente utilizada, cabe aclarar que no sólo es una forma de comunicación y enseñanza, sino un instrumento de exploración que debe ser cultivado, de acuerdo con Góngora y Cú Balan (2007).

Los juegos son importantes recursos para convertir los procesos de enseñanza-aprendizaje en momentos mucho más agradables y participativos, pero para ello deben estar de acuerdo con la práctica pedagógica del profesor e incluidos dentro del plan de clase, para que proporcionen una mayor interacción entre los contenidos y el aprendizaje. Hay que señalar que su uso aleatorio o excesivo puede tornarlos improductivos, por lo que su utilización debe fundamentarse en un planeamiento que considere los diversos aspectos del proceso educativo (Bruner, 1986).

Tendencias y enseñanza de la evolución biológica y su relación con la biodiversidad

La teoría de la evolución ocupa un lugar central en la Biología, ciencia que nace precisamente a mediados del siglo XIX, cuando la *Historia Natural*, que había dedicado grandes esfuerzos a describir detalladamente plantas y animales, se convierte en una biología que pretende explicar los procesos y los fenómenos biológicos. Esta teoría, además de constituir una revolución en la comunidad científica, fue quizá la primera idea científica que tuvo un impacto inmediato en la opinión pública: *El origen de las especies a través de la selección natural*, de Charles Darwin, se agotó el día de su aparición, en 1859, y la polémica alcanzó un ámbito más amplio al de los círculos científicos al publicarse *El origen del hombre y de la selección en relación al sexo*. Esto se debió, en gran medida, a la percepción de que esta teoría cambia la posición del ser humano, haciendo de él un producto de la evolución emparentado con los restantes animales, con lo que deja de ser una entidad “diferente y superior”. Es claro que era difícil aceptar los cambios que implicaba dejar a un lado la concepción religiosa antropocéntrica y aceptar una visión biocéntrica y evolutiva para explicar el origen del hombre.

Las preguntas de ¿cómo se han originado tantos tipos diferentes de seres vivos? y ¿cuál ha sido el motor que ha generado toda la biodiversidad existente? han generado una gran polémica a través de la historia y muchos tipos de respuestas.

Durante el desarrollo de la historia y de las ciencias, una tendencia popular fue la de los fijistas, quienes suponían que las especies eran inmutables y que habían aparecido de manera simultánea. Una variedad del fijismo es el creacionismo, el cual se apoya en la “verdad revelada” en la Biblia y, en general, en la ideología religiosa, que inicialmente se opuso frontalmente al evolucionismo mediante una gran propaganda, prohibiciones y condenas papales. Las conexiones entre la jerarquía religiosa y el poder político causaron que la enseñanza de la evolución

estuviese prohibida y aún hoy día tenga ciertas restricciones sociales, como en los Estados Unidos, aunque no legales. Sober (1996) aclara que:

“el creacionismo no fue una pseudociencia en el pasado, pero las hipótesis que arroja esta teoría han sido categóricamente refutadas de manera científica, por lo cual hoy deben considerarse fuera del ámbito de la ciencia, aunque la corriente mundial a favor del “diseño inteligente” afirme lo contrario”.

Las explicaciones evolucionistas, que explicaban la biodiversidad existente y que suponían transformaciones o cambios en los organismos a lo largo del tiempo y parentesco entre ellos (es decir, que las especies actuales proceden de antepasados diferentes a ellas), son anteriores a Darwin y Lamarck. Lo que hizo la diferencia fue que el modelo darwinista propone un mecanismo de cambio: la selección natural, basada en la variedad intraespecífica, la excesiva descendencia y la sobrevivencia y reproducción diferencial, basándose en las propuestas fundamentales de Thomas Malthus en su célebre libro *Essay on the principles of population*.

En *El origen de las especies*, Darwin acepta otros mecanismos, como los propuestos por Lamarck: el uso y desuso o la herencia de los caracteres adquiridos. De esta manera, el desconocimiento de los mecanismos de la herencia impidió a Darwin, como a otros científicos, completar algunas características del modelo, que fue reformulado a partir de 1937 en la obra *Genetics and the origin of the species*, cuando Theodosius Dobzhansky mostró la compatibilidad entre los hallazgos de la genética y el evolucionismo. Esta reformulación, debida a los aportes del propio Dobzhansky así como de grandes científicos como Ernst W. Mayr o George G. Simpson, recibió el nombre de *teoría sintética de la evolución o neodarwinismo*. Desde entonces, la evolución como resultado de la selección natural es la teoría aceptada por la comunidad de las ciencias de la vida, para explicar la biodiversidad existente en el planeta, aunque prevalezcan ciertos debates enfrascados en mecanismos concretos de este hecho de la evolución tales como el neutralismo o el equilibrio puntuado (Ledesma, 2000).

La teoría de la evolución no es un descubrimiento parcial o una hipótesis puntual, sino que supone una mirada global diferente sobre los seres vivos, un cambio de paradigma (en el sentido de Thomas Kuhn) que transformó radicalmente las preguntas y los programas de investigación en biología, aunque esto sea discutido por varios estudiosos, ya que, de acuerdo con Mayr (1998), el hecho de que la obra de Darwin haya sido revolucionaria, no obsta que las ideas sobre la evolución lleven más de un siglo rodando. La teoría darwinista de la selección natural, el mecanismo clave de la adaptación evolutiva, no se aceptó plenamente hasta casi un siglo después de su publicación, tiempo en el que hubo revoluciones menores alejadas de los supuestos kuhnianos. Aunque es innegable que dicha teoría reformuló el pensamiento biológico, como lo manifiesta Sober (1996):

“Ahora pueden formularse preguntas “evolucionistas” acerca de cualquier fenómeno biológico. La evolución hace que se tenga que situar a los seres y los fenómenos biológicos en un proceso histórico. Esto conlleva que los métodos históricos tengan una relevancia especial en Biología”.

Es así que tanto el papel del conocimiento del proceso y hecho de la evolución, así como el cuerpo teórico más global y unificador en Biología, y su implicación como pieza fundamental de la misma, poseen una importancia social y científica indiscutible aunque presente una serie de conceptos que, de acuerdo con varios autores, los alumnos encuentran difíciles de asimilar (Rosas, 2001).

En este sentido, el trabajo de Rosas (2001), lleva a entender que los estudiantes aparentemente no son capaces de establecer las relaciones existentes entre sus nociones de evolución orgánica y las razones ofrecidas por los científicos, que les son explicadas en la escuela y nos dice:

“Los alumnos creen que el ambiente es el que causa los cambios en las poblaciones a través del tiempo. Los mecanismos que sugieren son de necesidad (el organismo necesita correr más rápido), de uso y desuso (no usar los ojos los hace

disfuncionales) y de adaptación (los animales se adaptan, por su propia visión a los cambios ambientales)”.

y resume que para los estudiantes basta la explicación de una función, lo que confunden frecuentemente con el mecanismo evolutivo.

Historia del concepto de evolución y la biodiversidad

La teoría evolucionista es una visión de la vida biológica que algunas personas no científicas encuentran inaceptable, a pesar del gran conjunto de pruebas que la apoyan. Éstas se han acumulado a través del tiempo de manera notable y hacen que en la actualidad ninguna persona dedicada al ámbito científico cuestione. Las pruebas se agruparon inicialmente en cuatro grandes categorías: biogeografía, paleontología, embriología y morfología, después se incorporaron con el avance de la ciencia y el descubrimiento de los patrones hereditarios, la genética de poblaciones, la bioquímica, la biología molecular y, recientemente, los avances provenientes de la secuenciación de genes. La teoría de la evolución termina por explicar la diversidad biológica existente en los diferentes momentos históricos del planeta, por lo que es indispensable que los docentes encargados de enseñarla la conozcan y comprendan, para que posibiliten una cultura científica básica en la población estudiantil que incluya una visión evolutiva de los fenómenos naturales, visión que genere en la población ideas de movimiento, de cambio de ideas, puntos de vista, formas de vivir, sentir y sobresalir; aunada a la concepción de variación o variabilidad de los seres vivos y, entre éstos, del ser humano. Noción que constituye la base de la comprensión y el respeto a la diversidad humana que de acuerdo con Gould (1995), habrá de posibilitar otros estilos y prácticas de convivencia social.

En este sentido y en el contexto del presente trabajo se realizó una retrospectiva sucinta sobre el desarrollo de las teorías que explicaban y explican la evolución biológica y el desarrollo de la biodiversidad, así como de la contribución realizada por los grandes naturalistas a través de la historia.

Precursores del concepto de la evolución biológica

Para llegar a una teoría de la evolución de las especies perfectamente sistematizada, como lo hizo Charles Darwin (1809-1882), se tuvieron que superar ciertos "conocimientos" previos del mundo occidental entre los que encontramos los siguientes:

1. La edad de la Tierra. La evolución necesita tiempo, y éste era limitado a menos de 6,000 años. ; incluso clérigos fieles al relato textual del génesis como el arzobispo James Ussher, postularon que la Tierra había sido creada en el año 4,004 a.C.
2. La imposibilidad de cambio de las formas vivas, debido a que Dios las había creado tal y como eran. Las discrepancias surgidas entre lo que la Biblia decía y las observaciones científicas. Quien discutiera la Biblia se hallaba expuesto a un grave riesgo social.
3. El último problema consistía en catalogar y clasificar las diferentes especies existentes.

De acuerdo con Jiménez-Tejada (2009), en el siglo XVII, John Ray (1627-1705) definió el concepto de especie en el primer volumen de su obra *Historia generalis plantarum* con precisión, al escribir lo siguiente:

"Una totalidad de organismos similares que preceden de la misma semilla, se reproducen entre si y tienen descendencia que asemeja a sus padres".

Jiménez Aleixandre, también menciona que entre los inconvenientes del trabajo de Ray con respecto a la evolución biológica de los organismos se encuentra el que este autor suponía que:

"Nunca nace una especie de la semilla de otra especie"

Esta propuesta fue retomada y transformada por Carlos Linneo (1707-1778) de acuerdo con Sloan (2009). Linneo construyó una clasificación basada en la sistematización racional de los grupos de organismos en grupos subordinados estableciendo de esta manera el sistema binomial de nomenclatura y la jerarquía linneana de siete grupos principales (reino, clase, orden, género, especie, variedad); este sistema binomial de nomenclatura es utilizado actualmente, para nombrar las diferentes especies. Linneo desarrolló exhaustivamente su trabajo en la publicación de su *Sistema Naturae*, de acuerdo con Lenay (1994), en este trabajo Linneo trataba de adaptarse a la vieja idea de que los seres vivos deberían poder ordenarse en una escala de complejidad que debería ir desde la materia inerte hasta el espíritu. Ledesma (2000) menciona que:

“Linneo fue un creacionista y el creacionismo resulta opuesto al transformismo; en el Systema naturae, Linneo trató de reflejar las reglas con las que el creador diseñó las especies vivientes por lo cual establece que: “Existen tantas especies como fueron creadas por Dios en el momento”. Lo anterior excluye la posibilidad de la transformación ya que la cantidad de especies parte de esta aseveración.

Sin embargo, en su sistema natural, existen elementos que obligan a los clasificadores a prestar atención a las similitudes y diferencias con otras especies, cuando quieren denominar una nueva. El trabajo de Linneo trata de poner orden en la diversidad de la creación; de acuerdo con Lenay (1994) Linneo al agrupar a los seres vivos según sus semejanzas o sus diferencias, esperaba encontrar una clasificación natural que fuera un buen reflejo del plan de la creación. Linneo contribuyó a sustentar las teorías evolutivas y, en su momento, a la aceptación de la idea de la ascendencia común. También enfatizó la realidad de las especies y la importancia de las relaciones ecológicas entre ellas; en su ensayo sobre la economía de la naturaleza (1749) desarrolló la idea de que cada especie está adaptada para cumplir un papel en el ciclo natural de la existencia. Las especies eran más que simples nombres en un catálogo y su estructura estaba diseñada

para un determinado tipo de vida en un ambiente geográfico concreto, con lo que nació el concepto de nicho ecológico y de ecología (Moreno, 2002).

Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), nació en Montbard, Borgoña (Francia), el 7 de septiembre de 1707 (el mismo año que Linneo) y realizó una enciclopedia sobre la naturaleza, en cuarenta y cuatro tomos, la *Histoire naturelle, générale et particulière*, en la que realizó descripciones redactadas con elegancia y con historias sobre la vida de una gran cantidad de animales y plantas, además de introducir discursos sobre astronomía, la edad de la Tierra y los procesos vitales (Barberá, 1994). Para Buffon, la naturaleza es activa, capaz de construir y de encadenar los procesos. Llegó a calcular que la Tierra era mucho más antigua de lo que indicaba la Biblia datando la cifra de 168,000 años (García, 2007); En lo correspondiente al ordenamiento de los seres vivos realizó una clasificación de los animales la cual fue poco científica, ya que la hizo con relación a la utilidad a los hombres, esto último es un reflejo fiel del ambiente antropocéntrico de la época. De acuerdo con Sarukhán (1989) Buffon creía que el mundo era viejo y que las especies cambiaban lentamente a lo largo de milenios, si bien los simios superiores eran descendientes extraviados de personas (éstas sí de fabricación divina directa); por eso fue acusado y en ocasiones renunció a todo lo que atañía sobre sus afirmaciones acerca de la formación de la Tierra y a todo lo que chocara con la narración bíblica. Lo anterior debido al ambiente intelectual en el que este autor vivió y a que los teólogos de la Sorbona imponían censura a los libros científicos que se publicaban en Francia, al grado de que en ocasiones Buffon tuvo que retractarse de algunas de sus afirmaciones e ideas. Además se encontraba claramente bajo la influencia del deísmo.

La idea de una continuidad de la naturaleza y el concepto de especie son aspectos relevantes de su pensamiento, ya que Buffon fue el primero en concebir a las especies como entidades reales, sustentando su concepto de especie en la capacidad de cruzamiento interfértil y en la fertilidad de la descendencia, según Valencia (1991).

Sarukhán (1989) apunta que una de las coyunturas de los estudios de la evolución de las especies es la que se refiere a los fenómenos geológicos, de donde múltiples relaciones coadyuvan a aclarar diversas cuestiones biológicas; por lo que resulta importante reconocer este vínculo interdisciplinario. Para él el primer geólogo sistemático del mundo fue quizás James Hutton (1728-1799), puesto que proporcionó a la ciencia un esquema que aclaraba por primera vez los fenómenos terrestres y sus procesos. Sustituyó las ideas catastrofistas por el principio del uniformitarismo, el cual propone que lo que ocurre actualmente en la Tierra no difiere de lo que siempre ha ocurrido. Los procesos en esencia son los mismos y ocurren de manera muy lenta, por tanto ha de existir una fuerza que contrarreste esto, un alzamiento que equilibre el desplome. Según Sarukhán (1989) Hutton la localizó en el calor del interior de la Tierra y en las hinchazones de su corteza, consecuencia de ese calor, y en la fuerza de los volcanes. Distinguió dos tipos de rocas: las sedimentarias o formadas hacia abajo y las metamórficas o formadas hacia arriba. De esta manera, la visión de Hutton precisaba de una cantidad de tiempo sin confines, por lo que sus ideas no hicieron mella alguna en el catastrofismo. Sin embargo, Sarukhán (1989) nos dice que el geólogo británico Charles Lyell (1797-1875), es quien retoma las ideas del uniformitarismo y considera sólo fenómenos como terremotos, acciones volcánicas, sedimentación, acción del mar, como las únicas causas aceptables en su geología no hipotética y sostiene que esas fuerzas o causas geológicas actualmente operan de la misma forma que en el pasado y es así que funge como uno de los motores principales que impulsaron a Darwin a proponer el mecanismo de la evolución a través de la selección natural. Esto porque de acuerdo con Bowler (2010), durante la travesía del Beagle, Darwin leyó *Los principios de geología* de Lyell y se “convirtió” al método uniformitarista ya que éste explicaba las transformaciones geológicas como el resultado de cambios graduales que se extendían durante vastos periodos de tiempo. Menciona que Darwin logró observar los efectos de los terremotos en las montañas de los Andes, así como evidencias de que las

cordilleras montañosas fueron elevadas poco a poco a lo largo de una prolongada serie de terremotos de una violencia no mayor a la que observamos actualmente.

En tanto, la primera teoría general y científica de la evolución o por lo menos la más estructurada de la época la elaboró el naturalista francés Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Caballero de Lamarck (1744-1829), colaborador de Buffon y después profesor del *Museo de Historia Natural*. Admitió la existencia de una evolución de las especies y trató de darle una explicación racional. La idea central era que dicha evolución es obra de la naturaleza la cual se vale de infinitos recursos para producir a las especies; Barthélemy-Madaule (2009) nos menciona que Lamarck en *El discours de l'an XI* formuló la pregunta ¿Qué es una especie?, y que al mismo tiempo se opuso al creacionismo pronunciando:

“Las especies no pudieron haber sido creadas la mañana de la creación puesto que aparecían por efecto de las circunstancias a medida que se desdoblaba el tiempo. No pueden ser fijas puesto que se transformaban por estas circunstancias en una especie emergiendo de otra. No pueden ser el resultado de la creación especial puesto que se formaban por transformación y, para facilitar el estudio es útil designar como especie a aquellos (seres) que se parecen y se reproducen entre ellos.

En este sentido Lamarck también comprende que los factores climáticos, por sí solos, no pueden explicar los perfiles de los seres vivos y que para llegar a entender esos rasgos era menester atender a sus modos o condiciones de vida (Caponi, 2007). Según Lamarck, existe en la naturaleza una gradación sutil, que va de los animales más simples o menos perfectos a los más perfectos, es decir, al ser humano. En el pensamiento lamarckiano se reconoce ya la idea de que la evolución conduce a los organismos por un sendero de complejidad creciente. El camino de cada especie está guiado por el medio ambiente y las variaciones de éste alteran los requerimientos del organismo, que responde cambiando de comportamiento. Para ello empieza a citar unos órganos más que otros y propone el uso y desuso altera la morfología, fortalece y desarrolla los órganos ejercitados y debilita los poco usados (García, 2007).

Al aceptar la noción de Buffon de la gran edad del mundo, Lamarck dedujo que las condiciones de la superficie terrestre debían haber sufrido grandes cambios, de modo que los seres vivos hubieron de adaptarse a ellas. En su opinión, lo hicieron aprendiendo y luchando, tratando siempre de adaptarse, y, mientras tanto, alterando su forma y su comportamiento. El clásico ejemplo aducido para ilustrar la idea de Lamarck es el del alargamiento del cuello de la jirafa: por estirar una y otra vez el cuello para llegar mejor al alimento, consigue tener vértebras y cuello más largo. Todos los cambios útiles que la jirafa conquistó durante su vida, aparecieron en su descendencia, volviendo a ocurrir con ésta lo propio.

Actualmente, esto se conoce con el nombre de *teoría de los caracteres adquiridos*. Del mismo modo, la desaparición de órganos se justificaba con el desuso, como el pez ciego o en el caso de los topos que habitan en cavernas oscuras. La diferencia de estas ideas con las de Darwin es más sutil de lo que se cree habitualmente. Darwin también hablaba de la influencia del uso y desuso de los órganos como base de la variación, pero Lamarck creía en una fuerza interior al individuo que provocaba todos estos cambios, es decir una tendencia intrínseca a la perfección (Ledesma, 2000).

Ledesma (2000) apunta que Lamarck, fue prudente y evitó cualquier conflicto con la Iglesia, pero en sus proposiciones formuladas de forma hipotética utilizó para la aparición del ser humano los mismos argumentos que para la aparición de las especies, y definió las etapas necesarias para su aparición, en este sentido, Schussheim y Salas (1985) nos mencionan que Lamarck escribió que:

“Si una raza cualquiera de cuadrúmanos, en particular la más perfeccionada de todas, perdiera por la fuerza de las circunstancias, o por cualquier otra causa, el hábito de trepar a los árboles y de agarrar las ramas con los pies, como si fueran manos, para aferrarse, y si los individuos de esta raza, durante una serie de generaciones, se vieran obligados a servirse de los pies para caminar y dejaran de emplear las manos al igual que los pies, no cabe duda que esos cuadrúmanos se transformarán, a la

postre, en bímanos y que el pulgar de sus pies dejará de estar separado del resto de los dedos, con lo que dichos pies sólo servirán para caminar”.

Que considerando esta postura Lamarck no estaba de acuerdo el naturalista francés Georges Cuvier (1769-1832), quien convenció a sus colegas de las incapacidades que como científico mostraba Lamarck, en tanto éste consideraba la formación de la materia a partir de los cuatro elementos aristotélicos, oponiéndose a las nuevas teorías que sobre los elementos químicos exponía Lavoisier.

De acuerdo con Ledesma (2000) Cuvier trabajó en el Museo de Historia Natural de París y sentó las bases de la anatomía comparada, desarrollando métodos de investigación que fueron ampliamente utilizados. Sus estudios en este terreno le llevaron a mencionar que la fijación de las especies era lo más sensato y de hecho es uno de los principales impulsores del Catastrofismo. Esto situó a Cuvier frente a Lamarck. Por otra parte, Cuvier llegó a ser muy hábil en la interpretación de los cada vez más abundantes fósiles: era capaz de reconstruir un animal partiendo de un puñado de huesos, y con ello fundó una nueva ciencia, la paleontología (Wilford, 1991). De acuerdo con Lenay (1994), a través de la anatomía comparada de las distintas especies, Cuvier intentó a su juicio establecer las leyes de la organización de los grandes tipos biológicos, en este sentido Ledesma nos menciona que Cuvier pensaba que:

“Todo es interdependiente en un ser vivo. A partir de cualquiera de sus partes pueden deducirse todas las demás, porque cada organismo es un todo coherente y unos restos fósiles han de permitir reconstruir el organismo completo”

Pese al excelente trabajo que desarrolló Cuvier, con todas las herramientas de la anatomía comparada y la paleontología, a Ledesma (2000) le llama la atención que no dedujera que éstas son pruebas fehacientes de la evolución.

Sin embargo, de acuerdo con Caponi (2004):

“esto se debe a que para Cuvier, no se reconoce la comunidad de descendencia, por lo que los datos de la anatomía comparada no pueden tener ningún significado genealógico”

El mismo Caponi indicó que de acuerdo con Foucault, esto resulta al comprender que parte de lo que da cuenta del hecho de la evolución que es la organización taxonómica de los organismos, era rechazada por Cuvier para explicar el origen común de los organismos, quien pensaba lo siguiente:

“pertenecer a un género, a un orden, a una clase no significa tener en común con otras especies determinados caracteres menos numerosos que los caracteres específicos, no significa tener un carácter genérico o un carácter de clase, sino poseer una organización precisa».

Por eso, en palabras de Caponi:

“desde esa perspectiva la adscripción de una forma viviente a una categoría taxonómica, sin implicar nada semejante a una hipótesis sobre su genealogía, era lo mismo que formular una caracterización de su fisiología, era adjudicarle un modo de organización”

Lamarck tuvo más suerte y se fueron acumulando pruebas acumuladas por agricultores y ganaderos de que las especies no eran fijas perdurando su idea hasta que apareció una mejor, es decir la Teoría de la Evolución teniendo como fuerza impulsora a la *Selección Natural*. Sin embargo, es innegable que las propuestas de Lamarck contribuyeron de manera importante a la gradual aceptación de la evolución biológica. A finales del siglo XIX, cierto número de científicos retomaron las ideas lamarckianas y se valieron de ellas para contrarrestar el darwinismo.

El naturalista Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844) a diferencia de Lamarck, creía en la idea de un plan de creación, sujeto a ciertas leyes generales, y con el paso del tiempo se sumó a los representantes de las ideas transformistas; Éstas se basan

en la suposición de que existe un único animal, modificado por simples cambios en la proporción de sus partes. es decir, basó el desarrollo de su ciencia en el concepto de “unidad de composición”, según el cual las estructuras de todos los animales podrían ser reducidas a un cierto número de órganos componentes; así los animales habían sido contruidos a partir de un solo plan básico morfológico, por lo que la vida animal podría ser entendida como una larga serie continua. Este trabajo llevó a que Saint-Hilaire sea considerado como uno de los fundadores de la anatomía comparada aunque él bautizó a su trabajo como *Anatomía filosófica*. Sin embargo, a partir de él la anatomía ya no sería concebida como una mera descripción de formas, sino que permitiría la comparación de las diferentes morfologías desde una perspectiva histórica y evolutiva (Guillaumin, 2009).

En Inglaterra, Richard Owen (1804-1892) trabajaba también en la paleontología y formuló una idea básica para la teoría de la evolución: un mismo órgano puede desempeñar funciones diferentes en las distintas especies, y una misma función puede ser cumplida por diferentes órganos en diferentes especies. La primera propuesta es lo que en el mundo de la biología actualmente se conoce como *homologías*. Entre los ejemplos clásicos de homologías encontramos, el brazo y las manos humanas, la pata de un caballo, el ala de un ave y la aleta de una ballena los cuales son homólogos dado que cumplen una función diferente, tienen la misma estructura y tienen un mismo origen embriológico. En cambio las branquias de un pez y los pulmones de un mamífero son análogos: cumplen la misma función, pero tienen diferente estructura y origen embriológico. Sin embargo, de acuerdo con Wilford (1991):

Owen fue un anti evolucionista o cuando menos, antilamarckiano y pese a que creía que las especies podían cambiar con el paso del tiempo, estaba convencido de que cada uno de los animales dentro de los grandes grupos eran variaciones de un mismo

tipo, el llamado *arquetipo ideal*¹ y de que la mente divina que había planeado el *arquetipo* también conocía anticipadamente todas sus modificaciones.

Atacó ferozmente a Darwin y se convertiría en un áspero oponente de la teoría de la selección natural, aunque en un inicio Bowler (2009) menciona que entablaron una relación fructífera en el ámbito científico, tan es así, que al regreso del navío del Beagle, Owen es quien se encargó de la descripción de los fósiles que recolectó Darwin, y nos menciona que Darwin expresó en alguna ocasión ser incapaz de comprender la personalidad de Owen y que incluso otros amigos le advirtieron de su compleja e intrigante personalidad.

Por su parte, Thomas Malthus (1766-1834) fue un científico social. Se preocupaba de los oprimidos y desvalidos, pero no por intereses parroquiales, a él le interesaba llegar a la fuente de los trastornos. Publicó su *Essay on the principles of population*², en el que concluyó que la población tiende a crecer en proporción geométrica, y los recursos suelen incrementarse en una proporción aritmética, lo que significaba que habría lucha continua de los seres por la comida existente; sólo los más aptos sobrevivirían en la contienda.

Lo que precedió a Malthus fue la noción de lucha: la supervivencia de los más aptos. El concepto causó honda impresión por la evidente conveniencia a las clases socialmente elevadas de Europa. Por entonces, se dedicaba energía a edificar un imperio mundial a expensas de lo que consideraban “razas menores”, “de cultura inferior” y “de inferior color de tez”. Para las clases altas británicas, Malthus tenía razón a todas luces: sus miembros eran los supervivientes y, por tanto, los más aptos. Se trata de un círculo vicioso sin prueba alguna, pero que fue aprovechado por seguidores de Darwin en beneficio propio como una perversión

¹ De acuerdo con Gould (2005), un arquetipo para Owen es un modelo abstracto que permite generar una gama completa de diseños anatómicos mediante la simple transformación de un prototipo que, en potencia, los incluya a todos

² Bowler (2009), comenta que Darwin en su *Autobiografía* mencionó que leyó el ensayo de Malthus, no como diversión, sino como parte de su programa sistemático de lectura dedicado a las implicaciones humanas del evolucionismo.

de su teoría, que se llamó darwinismo social. A menudo se considera a la obra de Malthus como el elemento que abrió los ojos intempestivamente a Darwin. De acuerdo con Ledesma (2000), Malthus menciona en su libro lo siguiente:

“Considerando aceptados mis postulados, afirmo que la capacidad de crecimiento de la población es infinitamente mayor que la capacidad de la Tierra para producir alimentos para el hombre”

La proeza de Darwin según Gould (1995) se consagró tras los cinco años en el *Beagle*, durante el cual el joven Darwin, se convirtió en un evolucionista por observación simple y objetiva de todo un mundo:

“Darwin abandonó Inglaterra en 1831, con la idea de convertirse en un pastor rural a su regreso, y regresó en 1836 tras haber visto la evolución al desnudo, comprendiendo sus implicaciones, y comprometido con una vida científica como pensador evolucionista. El catalizador principal fueron las Islas Galápagos, y los principales actores: tortugas, sinsontes y, por encima de todo, trece especies de pinzones (pinzones de Darwin), en resumen, el más espléndido laboratorio evolutivo que jamás nos haya ofrecido la naturaleza”.

Sin embargo, al regreso del viaje, Darwin los evitó obstinadamente, por simples y breves que fueran. Torres (2004) argumenta que provenía de una familia acomodada y se casó con una mujer rica, pariente suya. Esto le permitió trabajar en casa, libre de la lucha por la supervivencia académica que tenían que librar sus colegas. Las ideas primarias sobre la evolución las concibió hacia 1840. Sabía por sus observaciones de campo que los integrantes de una población presentaban gran diversidad morfológica, y sospechaba que esta diversidad estaba relacionada con la aparición de nuevas especies. De acuerdo con Kutschera y Niklas (2004) las principales propuestas de Darwin son:

- Los actos supernaturales del creador son incompatibles con los hechos empíricos de la naturaleza.
- Toda la vida evolucionó a partir de uno o pocos tipos diferentes de organismos.
- Las especies evolucionaron a partir de variedades preexistentes a través de la selección natural.

-
- El nacimiento de una especie es gradual y a través de un periodo largo de tiempo
 - Taxa superiores (géneros, familias, etc.) evolucionaron por los mismos mecanismos que son responsables del origen de las especies.
 - La extinción es el resultado primario de la competición interespecífica.
 - El registro geológico es incompleto, la ausencia de formas transicionales entre las especies y los taxa superiores se debe a las condiciones necesarias para la fosilización y preservación de estos registros.

Pero de acuerdo con Noguera y Ruiz (2010) Darwin terminó por establecer que todas y cada una de las especies del planeta y por tanto la gran diversidad de vida que vemos sobre la superficie de la Tierra, son el resultado del proceso de variación hereditaria y selección natural, y que todas ellas, con sus diferentes maravillas adaptativas, descienden del mismo ancestro común y exhortan a reflexionar sobre lo siguiente:

En los próximos años probablemente se reescriba la historia de la vida, pero desde una pluralidad explicativa, basada en la conjunción de diversos fenómenos y procesos evolutivos que van desde la simbiogénesis, la transferencia horizontal de genes, la deriva génica, las hibridaciones, la plasticidad fenotípica, la epigénesis, los fenómenos del desarrollo embrionario, y desde luego, la variación y la selección natural o reproducción diferencial, Esta será una conjunción de explicaciones que ampliará nuestra visión de la gran diversidad de los fenómenos de la vida, entre ellos, el más significativo será el cambio en las especies.

Neolamarkismo

Los experimentos para probar la “herencia de los caracteres adquiridos” tuvieron un auge tardío en la década de los 50 del siglo XX, después de que Lysenko emprendiera en 1948 una extensa campaña contra el “reaccionario mendelismo-morganismo” de los países capitalistas. A este autor se le ocurrió plantar grandes extensiones de cereales en las gélidas estepas rusas y siberianas, donde haría que las plantas adquirieran resistencia al frío para, así, incrementar la extensión de tierras dedicadas al cultivo de cereales y acabar con el problema de la alimentación. Los resultados fueron la ruina de este proyecto, el atraso en la ciencia genética dentro de la Unión Soviética en varias décadas con respecto al resto de los países y, el olvido de Lysenko (Ruiz y Ayala, 1998).

Teoría sintética de la evolución

Ni Darwin, ni Wallace pudieron explicar a fondo cómo ocurre la evolución; uno de sus principales problemas era el no tener los elementos para explicar la transmisión de las variaciones de una generación a otra. Los trabajos de Mendel, redescubiertos en 1900, abrieron nuevas investigaciones que llevarían a un mejor entendimiento de este proceso; sin embargo, para los genetistas como Bateson, las leyes de la herencia constituían la prueba de lo absurdo del pensamiento darwinista, ya que se había demostrado que los caracteres se distribuían según las leyes mendelianas, presentándose diferencias cualitativas: el chícharo era arrugado o liso, amarillo o verde; es decir, no existían valores intermedios. Partiendo de este hecho, se llegaba a la conclusión de que las variaciones evolutivas deberían ser discontinuas. Por el contrario, la escuela darwinista estaba formada por “biométricos” como Walter E. Weldon o Karl Pearson, que se habían mantenido en la ortodoxia darwinista representada por Francis Galton. Para ellos, la evolución tenía que ser el producto de la acumulación progresiva de pequeñas variaciones bajo el efecto de la selección natural (Lenay, 1994).

Estos investigadores, que eran tanto matemáticos estadísticos como biólogos, se interesaban sobre todo por las variaciones cuantitativas, como el tamaño o la distancia relativa de las partes del organismo. Demostrando que esas variaciones se distribuían entre la población en torno a un valor medio según una curva en forma de campana (Curva de Gauss), confiaban en poder describir la evolución como un desplazamiento progresivo de esa media, el cual sería continuo y determinado. En tal caso, el azar de las variaciones se inscribiría en un reparto estadístico regular, y ya no tendría un efecto directo sobre la evolución. La selección sería la única fuerza (Lenay, 1994).

El resurgimiento del darwinismo se culmina a finales de los años 50, teniendo como marco el centésimo aniversario de *El origen de las especies* y los ciento cincuenta años del nacimiento de Darwin. Julian Huxley acuñó el término teoría sintética, como una integración de las partes dispares de la Biología, en torno al

“corazón darwiniano”, en su libro *Evolution: The Modern Synthesis* (1942), obra que coincidió con la publicación de *Genetics and the origin of species* (1937), de Theodosius Dobzhansky; *Systematics and the origin of species* (1942), de Ernest Mayr, y *Tempo and modo in evolution* (1944), de George Gaylord Simpson, trabajos decisivos en el nacimiento de la moderna síntesis evolutiva (León, 2010)³.

La síntesis evolutiva ocurrió en dos niveles: 1) el programa de investigación mendeliano se fusionó con las tradiciones darwinianas de la selección natural, luego que los mendelianos reconocieran la importancia de las micromutaciones, del multialelismo y su correspondencia con la variación darwiniana, y que la genética de poblaciones suministró una mecánica cuantitativa para el cambio evolutivo; 2) las disciplinas tradicionales: la historia natural, sistemática, paleontología, morfología y botánica clásica, fueron integradas dentro del darwinismo, o al menos presentaron consistencias con éste.

En este punto, los intereses de la genética se repartieron en dos grandes áreas de investigación: por una parte, el estudio fisicoquímico y biológico de los mecanismos de la herencia, por otra, las bases genéticas de la evolución. Para los investigadores de este último grupo pronto quedó claro que la evolución era un fenómeno propio de las poblaciones naturales de organismos. Se convino en llamar genética de poblaciones a esta nueva rama de la genética, cuyo principal interés era la investigación de la frecuencia de los genes en las poblaciones, con lo cual se convirtió en pilar en la construcción de la teoría sintética de la evolución al probar que no había ningún conflicto entre la herencia particulada y la selección natural, teniendo como base la llamada ley de Hardy-Weinberg, establecida en 1908, que afirma la constancia de las frecuencias de dos alelos diferentes en una población en equilibrio (no afectada por migraciones, mutaciones, selección o errores de muestreo), es decir, la ley de Hardy-Weimberg es un modelo nulo, que permite estudiar las causas del mantenimiento o de la modificación de las

³ Disponible en: www.interciencia.es/PDF/History/Evolucion%20III%20Teoria%20sintetica.PDF

frecuencias génicas en las poblaciones, en un momento dado a lo largo del tiempo. Al respecto Mensua (2003) afirma:

“dada una población ideal, de tamaño infinito, cerrada (sin procesos migratorios), con apareamiento aleatorio entre sus miembros (panmixia), en donde los genes no sufren mutación y los distintos alelos de un gen confieren la misma eficacia a sus portadores (no hay selección), las frecuencias alélicas y genotípicas no variarán a lo largo de las generaciones”.

Equilibrios puntuados

De acuerdo con Cachón y Barahona (2002) la teoría del equilibrio puntuado surgió en el año de 1972, cuando Niles Eldredge y Stephen Jay Gould publicaron su primer artículo conjunto intitulado *Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism*; en este trabajo, señalaban una contradicción existente entre las publicaciones paleontológicas tradicionales y la síntesis moderna: la evolución filética mostrada por los paleontólogos en sus reconstrucciones se oponía al modelo de especiación geográfica sostenido por Ernst Mayr y otros autores posteriores a la síntesis moderna.

Según estos autores, en el modelo de especiación peripátrica que postula Mayr, las nuevas especies surgen a partir de poblaciones locales periféricas, situadas al margen de la distribución geográfica central de la especie madre. Sin embargo, este modelo no deja lugar a la evolución progresiva *in situ* de las especies, que era precisamente lo que mostraban las reconstrucciones de especiación filética elaboradas hasta entonces por los paleontólogos. Tanto Eldredge como Gould intentaron deshacer esta contradicción aplicando el modelo de especiación geográfica al registro fósil logrando concluir que el gradualismo filético estaba, en el mejor de los casos, desmesuradamente sobrevalorado. La especiación se realizaba, más bien, mediante la transformación rápida de poblaciones periféricas. Además, este modelo proponía que, entre un evento y otro de especiación lo que hay son largos periodos de estasis, que aparecen puntuados o interrumpidos por breves periodos de evolución rápida. Eldredge y Gould propusieron que raramente

hay gradualismo filético (como ellos rebautizaron a la anagénesis), sino que, durante la mayor parte del periodo de vida de una especie, lo que se encuentra es una prolongada estasis morfológica puntuada, de vez en cuando, por eventos de especiación que ocurren principalmente en poblaciones marginales (Mayr, 1998).

La teoría de los equilibrios puntuados desató –desde su inicio– una gran controversia, sobre todo a partir de su radicalización y debido a una gran resistencia por parte de los neodarwinistas más ortodoxos a aceptar una teoría alternativa que explicaba los cabos sueltos que dejaron los arquitectos de la síntesis moderna de la evolución (Olea-Franco, 1986).

Historia del concepto de biodiversidad

El término biodiversidad es de reciente formulación, y su configuración discursiva se ha reelaborado rápidamente, ya que en un plazo relativamente corto se ha ido articulando con otros elementos. En las publicaciones científicas, antes de los años 80 la diversidad biológica aludía a la diversidad de especies en tanto característica estructural de los ecosistemas (Toledo, 1994).

La determinación del concepto biodiversidad, de acuerdo con Núñez y cols. (2003), emanó básicamente de dos publicaciones aparecidas en 1980, por un lado Lovejoy (1980), quien realizaba un estudio para el *Fondo Mundial para la Naturaleza* (WWF, por sus siglas en inglés), hizo algunas contribuciones para el Reporte Global 2000, dirigido al presidente de los Estados Unidos, James Carter. En ese estudio, revisó varios temas ambientales globales como la energía, las poblaciones humanas, la economía, así como los recursos forestales globales y consecuencias de su explotación como el cambio climático; también se destacaron algunas estimaciones sobre la extinción de especies. Lovejoy escribió en dicho reporte acerca de la diversidad biótica o biológica y, aunque no la definía formalmente, la empleó al referirse al número de especies presentes en un territorio determinado. Jeffries (1997) apunta que por otra parte, Norse y McManus

(1980), quienes colaboraban en el *Consejo sobre Calidad Ambiental de la Casa Blanca*, también durante el mandato del presidente Carter, elaboraron un capítulo para el 11º *Reporte Anual del Consejo en Calidad Ambiental* (Jeffries, 1997; Harper y Hawksworth, 1995). Ese capítulo examina la biodiversidad global y la definen incluyendo dos conceptos relacionados entre sí: diversidad genética (la cantidad de variabilidad genética dentro de las especies) y diversidad ecológica (el número de especies en una comunidad de organismos). Estos autores colocaron en el mismo nivel a la diversidad ecológica con la riqueza de especies, al referirse al “número de especies en una comunidad de organismos”.

De acuerdo con Jeffries (1997) en ambas publicaciones, la biodiversidad se discutió a una escala global, relacionándola con temas más amplios y no solamente con el aspecto biológico. La importancia de la biodiversidad, actual y potencial, quedaba de manifiesto, reconociéndose que la actividad de los ecosistemas naturales provee lo que ahora se denomina servicios o funciones vitales para la salud del planeta. Quedaba claro en esos documentos que la biodiversidad no debía verse únicamente como un objeto de estudio de la Biología.

Más tarde, se registraron diversas aplicaciones del concepto en algunos eventos en los que participaron Norse y sus colaboradores, como la Conferencia Estratégica sobre Diversidad Biológica de Estados Unidos, celebrada en noviembre de 1981 (Departamento de Estado, 1982, citado por Harper y Hawksworth, 1995). Fueron estos autores quienes difundieron un concepto más amplio al referirse a la diversidad biológica en tres niveles: (i) diversidad genética (dentro de las especies); (ii) diversidad de especies (número de especies); (iii) diversidad ecológica o de ecosistemas (comunidades). La biodiversidad se refiere al total de especies en un ecosistema y a la resultante complejidad de las interacciones entre ellas y de los procesos evolutivos que les dieron origen; además, define la riqueza de una comunidad ecológica. Ésta se da a diferentes

niveles, puesto que los seres vivos están organizados jerárquicamente en especies, individuos y poblaciones.

En palabras de Núñez y cols, (2003). Actualmente se define a la biodiversidad como:

“Toda variación de la base hereditaria en todos los niveles de organización, desde los genes en una población local o especie, hasta las especies que componen toda o un aparte de una comunidad local, y finalmente en las mismas comunidades que componen la parte viviente de los múltiples ecosistemas del mundo”

¿Cómo se explicaba la biodiversidad antes de Darwin?

De acuerdo con Gould (1995), la diversidad de la naturaleza es fuente de diferentes experiencias para quienes se encargan de estudiarla, sin embargo, para la mayoría de las personas significa un concepto complejo. La evolución es el principio ordenador, de toda esa magna complejidad que permite una coherente clasificación de la vida. Apunta que antes de que el proceso evolutivo se volviera tan popular en el siglo XIX, la gran cadena del ser y la gradación de los organismos, eran sin duda ideas de las más destacadas como unas de las presuposiciones más persistentes en todo el mundo occidental. De hecho, hasta hace poco más de un siglo, probablemente fuera la concepción más familiar del esquema general de las cosas, del modelo constitutivo del universo.

Nos dice también que en la gran cadena del ser, cada organismo forma un eslabón claramente definido en la secuencia única que lleva desde la más humilde de las amebas hasta seres cada vez más complejos que culminan en el grandioso ser humano, y dado que tendemos a confundir evolución con progreso, a menudo se malinterpreta la cadena del ser con una versión primitiva de la teoría de la evolución. Asimismo, que algunos pensadores del siglo XIX temporalizaron la cadena convirtiéndola en una escalera que los organismos podían ascender en su progreso evolutivo, la cadena del ser original era explícita y vehementemente anti-evolucionista: la cadena es una ordenación estática de entidades inmutables creadas, una serie de animales situados por Dios en posiciones fijas en una

jerarquía ascendente que no representaba el tiempo ni la historia, sino el orden eterno de las cosas. La naturaleza estática de la cadena definía su función ideológica: cada criatura debe conformarse con su lugar asignado, ya que todo intento de transgredir la jerarquía alteraría el orden establecido en el universo.

Según Pelayo (2001) otra idea muy acentuada durante largo tiempo, que trató de explicar la compleja diversidad de las especies fue la propuesta por Cuvier, en la cual se hacen presentes las catástrofes naturales y la creación divina. Desarrolló un programa de investigación en paleontología basado en el estudio de restos óseos de mamíferos; dedujo de la comparación anatómica entre formas fósiles y actuales, la existencia de seres vivos en el pasado, y que los restos fósiles pertenecían a organismos que habían sido exterminados por alguna catástrofe geológica. Postulaba que los organismos extinguidos se habrían visto reemplazados por los que se encontraban en ese tiempo.

Pelayo (2001), explica que Cuvier desarrolló su teoría de la Tierra mediante el estudio geológico de la Cuenca de París, en donde observó una alternancia de terremotos marinos y continentales; su interpretación fue que en el pasado habían tenido lugar grandes inundaciones y cataclismos geológicos periódicamente que exterminaban a las especies terrestres existentes y que iban seguidas de la aparición de nuevas especies que sustituían a las extintas. En síntesis, comenta que el catastrofismo geológico de Cuvier significaba que a partir del estudio del registro geológico se desprendía que en el transcurso de la historia de la Tierra habían tenido lugar súbitas catástrofes universales, que habían actuado sobre la superficie terrestre, asolando todo a su paso y exterminando a los seres vivos existentes en ese momento. Esas revoluciones geológicas o cambios de gran magnitud en la configuración de la Tierra sólo podían ser explicadas por la acción repentina y violenta de fuerzas de una naturaleza devastadora y por procesos fuera de lo común, que no se daban comúnmente. Por lo tanto, después de cada catástrofe, la Tierra se habría poblado con nuevos organismos, debido a nuevas creaciones o por migración desde otras áreas geográficas. La última de esas

catástrofes, que se recogía en las tradiciones de la mayoría de los pueblos había sido, según Cuvier, el Diluvio Universal de la Biblia.

¿Cómo se explica la biodiversidad desde el punto de vista darwiniano?

En 1859 la publicación de la obra *El origen de las especies* de Darwin provocó cambios que influyeron en el establecimiento de la Biología como ciencia autónoma, pues reveló que muchos conceptos básicos de las ciencias físicas no eran aplicables a la Biología y que tenía un mundo conceptual asociado no aplicable a la materia inanimada (Mayr, 2006). Como ya se mencionó, uno de los conceptos más importantes en la Biología es el de la evolución: teoría unificadora que explica el origen de las diversas formas de vida. Bajo esta perspectiva es que se retoman las palabras de Theodosius Dobzhansky (1973):

“Nada en la Biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución”.

Ahora se define que la evolución surge como consecuencia de tres procesos naturales: (i) variación genética entre los miembros de una población; (ii) herencia de estas variaciones; (iii) selección natural, la cual actúa eliminando a los individuos que no poseen las características necesarias para sobrevivir y reproducirse. En este sentido, todas las estructuras, procesos fisiológicos o formas de comportamiento que ayudan a la supervivencia y reproducción diferencial en un hábitat en particular reciben el nombre de “adaptaciones”.

Considerando la variación génica intra e interespecífica de acuerdo con Jacob (1998), todos los seres que viven sobre esta Tierra, sea cual sea su medio, su talla, su modo de vida, todos se componen de moléculas casi idénticas llamadas metabolitos primarios. Incluso, de la levadura al hombre, existen grupos de moléculas estrechamente asociadas que garantizan funciones generales y similares, como la división celular o la transmisión de señales de la membrana al núcleo de la célula. Surge así una pregunta: ¿cómo es que organismos que

presentan formas muy diferentes tienen idénticos grupos de genes? La respuesta es que la diversidad de formas se debe en parte a cambios en los sistemas de regulación que gobiernan la expresión de esos genes maestros o conservados evolutivamente. La estructura de un animal adulto es el resultado del desarrollo posterior del embrión que le dio origen. Basta con que un gen se exprese un poco antes o un poco después en el transcurso de ese desarrollo, o que se active algo más o menos en tejidos mínimamente diferentes, para que el producto final, el animal adulto, tenga por ello profundas modificaciones. Según Jacob (1998) ésta es la razón por la que, pese a las enormes diferencias existentes entre peces y mamíferos, tienen todos ellos casi los mismos genes, “igual que cocodrilos y focas monje”.

En cuanto al número de especies, a lo largo de 3,500 millones de años de existencia de la vida en la Tierra, se calcula que la evolución ha producido entre 8 y 10 millones de especies singulares e irremplazables. De ellas, los científicos han dado nombre a sólo cerca de 1.4 millones, y apenas una fracción mínima de éstas ha sido estudiada. Sin embargo, la evolución no se ha dedicado únicamente a producir millones de especies independientes. A lo largo de milenios, los organismos de un área dada han sido moldeados por las fuerzas de la selección natural, pero además se han generado intrincadas y fuertes relaciones entre ellas denominadas cadenas y redes tróficas.

Justificación

El Colegio de Ciencias y Humanidades tiene como uno de los propósitos educativos en la materia de Biología IV que los alumnos comprendan que la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad. Sin embargo, varios autores como Cortés (2006), Castañeda (2008), Trejo (2010) han mencionado que los contenidos biológicos relacionados con el proceso evolutivo son difíciles de asimilar por parte de los alumnos a distintos niveles educativos (primaria,

secundaria y bachillerato), por lo que es importante realizar un análisis y evaluación del cumplimiento de dicho propósito educativo, estudiando tanto el conocimiento y dominio de los contenidos por parte de los alumnos como la visión de los docentes. En consecuencia, se realizó en el semestre 2009-2 una evaluación a los alumnos de la materia de Biología IV por medio de una serie de cuestionarios con distintas preguntas generadoras, las cuales implicaron no sólo contestar con el concepto que se les pidió, sino que tuvieron que aplicarlo y explicarlo en relación con una situación cotidiana.

Hipótesis

1. Para el cumplimiento del propósito educativo planteado por el Colegio de Ciencias y Humanidades, en el curso de Biología IV, de que los alumnos comprendan que la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad, los profesores en turno utilizan distintas estrategias, pero a pesar de ello se obtendrán resultados similares.
2. Para el cumplimiento del propósito educativo planteado por el Colegio de Ciencias y Humanidades, en el curso de Biología IV, de que los alumnos comprendan que la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad, los profesores en turno utilizan distintas estrategias, por lo que se obtendrán distintos grados en el cumplimiento de dicho propósito.

Problema de investigación

Algunos autores han observado que en la práctica docente del Área de la Biología existe desvinculación entre los conceptos de evolución, sus procesos y el origen de la biodiversidad. A pesar de lo anterior, se asume que los egresados del CCH los han integrado e incorporado a su contexto social. El propósito de este trabajo fue investigar si en los grupos del curso de Biología IV del semestre 2009-2 del CCH Plantel Oriente se logran los objetivos del programa de estudios del CCH, si ocurre o no lo descrito por otros autores y proponer las posibles causas.

Objetivo general

Evaluar la comprensión del principio: “la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad”, en el programa de estudios del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.

Objetivos particulares

- Identificar conceptos evolutivos difíciles de entender por parte de los alumnos
- Identificar errores de manejo de contenido por parte de los alumnos.
- Proponer posibles causas que afectan el aprendizaje de la evolución biológica, por parte de los alumnos.
- Identificar, en los alumnos, concepciones frecuentemente erróneas, que impidan el aprendizaje de los conceptos relacionados con la evolución biológica y el origen de la biodiversidad.

Método

Se analizaron las ideas previas, así como las concepciones alternativas o erróneas de los alumnos que están relacionadas con el conocimiento de los procesos evolutivos que dan origen a la biodiversidad, previo curso de la materia de Biología IV y una vez que la cursaron, con el fin de establecer el grado de alcance en el cumplimiento del propósito educativo planteado y deseado por el plantel. Cabe señalar que estos alumnos ya cursaron Biología III donde estudiaron algunos conceptos generales relacionados con lo que se estudia en Biología IV. El cuestionario diagnóstico se aplicó a siete grupos distintos; incluyó distintas preguntas relacionadas con los conceptos evolución y biodiversidad, con la finalidad de identificar sus preconcepciones. Autores como Berry y Sahlberg (citado por Roldao y cols., 2001) han encontrado que en el área educativa de las ciencias, y en especial de la Biología, hay que investigar las concepciones elaboradas por los alumnos antes de la enseñanza formal, puesto que ello puede constituir un obstáculo en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, en tanto que ignorar estas ideas o concepciones podría ser una de las principales causas del fracaso escolar. Aunado a esto, Tamayo-Hurtado (2004) menciona que buena parte de las dificultades en la enseñanza de la teoría evolutiva se deben a que

“numerosos conceptos básicos vinculados a ella son difíciles de definir, delimitar o identificar, siendo ampliamente debatidos por los científicos”.

A continuación se presenta el cuestionario con una breve descripción de lo que se pretendía evaluar en cada pregunta:

1. ¿Cómo explicas que encontremos distintas variedades de perros? ¿A qué se debe tanta variedad? ¿Qué la genera?

Con estas preguntas se pretendía saber si los alumnos comprendían que la gran variedad de organismos es consecuencia directa de la diversidad genética intraespecífica de las especies, cuya causa recae, a su vez, en procesos tales como la recombinación genética o las mutaciones. Sobre ellas se ha desarrollado una selección artificial de características apreciadas por el hombre fomentando de esta manera diferencias ligeras que se han acumulado con el paso del tiempo y generado las distintas variedades o razas conocidas.

2. Una mutación poco frecuente en la bacteria *Escherichia coli* causa resistencia a la estreptomicina. Si se cultiva *Escherichia coli* en un medio con estreptomicina, se observa gran aumento en el número de bacterias resistentes. Explica este hecho.

Con esta pregunta se buscó que los alumnos describieran su concepción acerca de este cambio biológico y que relacionaran el proceso evolutivo con el papel tan importante de la genética; de hecho, se deseaba saber si los alumnos eran capaces de entender que para que ocurran los cambios se requiere que haya variación genética, lo que puede darse por las mutaciones, la recombinación, la transferencia horizontal de genes y, sobre todo, si entendían que la evolución es un proceso poblacional.

3. ¿Cómo crees que se generan o se generaron las especies? ¿Cómo se le llama al proceso que produce este fenómeno?

Con esta pregunta se buscaba evaluar y rescatar las preconcepciones de los alumnos, con respecto al proceso de especiación, y ver con qué otros procesos evolutivos ellos relacionaban la generación de las especies. Se esperaba que los alumnos describieran que el proceso de especiación ocurre cuando una barrera reproductora separa a una población en subpoblaciones, y que de este modo las mutaciones, la selección natural y el desplazamiento genético funcionan de

manera independiente en cada subpoblación, provocando divergencia genética que en ocasiones puede ser irreversible.

4. ¿Qué características presenta la República Mexicana para que sea un país megadiverso?

Con esta pregunta se pretendía conocer si a los alumnos les quedaba claro que México es considerado un país megadiverso, dado que alberga a una gran cantidad de especies producto de la interacción de numerosos eventos evolutivos, geológicos y ecológicos que han ocurrido en lo que ahora es su territorio, y a las características tan singulares de su geografía.

5. ¿Por qué México tiene una gran variedad de climas?

Esta pregunta fue desarrollada con la finalidad de saber si los alumnos comprendían que el país cuenta con una gran variedad de climas, dado que se encuentra en una zona de transición entre las zonas biogeografías Neártica y Neotropical, además de que tiene una intrincada orografía y una gran cantidad de recursos acuáticos.

6. ¿Qué efectos tiene la extinción de las especies en los ecosistemas y en la vida humana?

Esta pregunta se desarrolló con la finalidad de conocer si los alumnos del Colegio entendían que la extinción provoca una pérdida irrevocable de una especie, o posiblemente alteraciones en las intrincadas relaciones entre los organismos de distintas especies y afectación de las cadenas tróficas, por citar sólo algunos ejemplos.

7. ¿Por qué se extinguen las especies?

Esta pregunta fue desarrollada con el fin de entender si los alumnos comprenden que entre las posibles causas de la extinción de las especies está la falta de

adaptación al medio o la pérdida o sustitución del hábitat natural de las especies (efectos antropogénicos).

8. A principios de siglo, un naturalista realizó un experimento consistente en cortar, durante varias generaciones, la cola a unos ratones para ver qué pasaba con la descendencia. ¿Qué crees que sucederá al cabo de 20 generaciones? ¿Nacerán con cola o sin cola? Explícalo.

Esta pregunta se realizó para determinar si los alumnos comprenden adecuadamente cómo es que se transmiten los rasgos genéticos entre los organismos y cómo se genera la diversidad genética.

9. ¿Cuál es la diferencia entre razas y especies?

Con esta pregunta se querían conocer las preconcepciones de los alumnos con respecto al concepto biológico de especie, y si entienden que una especie biológica está formada por una o más poblaciones de individuos que se cruzan entre ellos, se encuentran aislados reproductivamente de otras poblaciones de este tipo, y producen descendencia fértil en condiciones naturales.

10. ¿Qué efectos tienen las mutaciones sobre los individuos y en las poblaciones?

Con esta pregunta deseábamos analizar si a los alumnos les quedaba claro el papel de las mutaciones en el proceso evolutivo y si comprendían que las mutaciones podrían jugar un papel favorable, dañino o neutro y que éstas son la base de la evolución al funcionar como una fuente de variabilidad

11. En varios estudios paleontológicos se han encontrado restos fósiles idénticos en África y Sudamérica, o en Australia y en la Antártida ¿A qué crees que se deba?

Con esta pregunta se buscaba saber si los alumnos sabían o se apropiarían de los conocimientos provenientes de la Biogeografía, la Geología y la Paleontología, que apoyan las propuestas neodarwinistas que explican los cambios en la corteza terrestre, la atmósfera y los océanos ocurridos en los últimos 3.8 millones de años y que han afectado en forma profunda, la evolución de la vida. De hecho, queríamos determinar si los alumnos del Colegio sabían que en el periodo Pérmico hubo un megacontinente que comprendía India, África, Madagascar, Australia y Sudamérica, y que éste recibe el nombre de Pangea, mismo que estuvo rodeado por todos los océanos y que, al finalizar el periodo Triásico –hace aproximadamente 245 millones de años–, comenzó a separarse en lo que hoy es Norteamérica y África, continentes que quedaron divididos por el mar de Tetis, con lo que se originaron dos grandes placas: Laurasia y Gondwana⁴.

12. ¿Cómo se denomina al proceso mediante el cual el medio ambiente elimina algunos organismos con características poco favorables?

Con esta pregunta se deseaba saber si los alumnos concebían al proceso de selección natural como el proceso que elimina a algunos organismos con características poco favorables para ese ambiente y tiempo específico.

13. ¿A qué crees que se deba que en Europa abunden personas con ojos de color claro (azul o verde) y en México abunden las personas con ojos de color oscuro (café)? ¿Tendrá alguna ventaja o desventaja?

Con esta pregunta se pretendía saber si los alumnos se habían apropiado del proceso o mecanismo de deriva génica, debido a que la situación se relaciona

⁴ Laurasia estaba formada por lo que hoy es Norteamérica y Eurasia (sin India), por su parte, Gondwana estaba constituida por los actuales territorios de Sudamérica, África, India, Australia, Antártida y Nueva Zelanda. Esta separación provocó la dispersión diferencial de algunos organismos, por lo que restos similares de organismos –hoy extintos– pueden ser encontrados en continentes ahora tan distantes.

directamente con el proceso de cambios en las frecuencias génicas en un periodo corto de tiempo y por procesos azarosos alejados de la adaptabilidad biológica (*biological fitness*), ya que el hecho de tener los ojos de determinado color no se vincula con tener una mayor ventaja evolutiva, es decir, no implica ningún valor adaptativo al medio.

Al terminar de realizar la evaluación inicial, se llevó a cabo un análisis de las respuestas generadas en el cuestionario, agrupándolas en alguno de los criterios de clasificación siguientes:

Criterio A. El alumno aplica adecuadamente los conceptos y es capaz de relacionarlos con precisión conforme a la visión científica.

Criterio B. El alumno describe correctamente los conceptos, pero no es capaz de relacionarlos en forma adecuada con respecto a la visión científica.

Criterio C. El alumno menciona los conceptos, pero no tiene una definición correcta y clara de los mismos ni es capaz de relacionarlos adecuadamente con respecto a la visión científica.

Criterio D. El alumno no tiene idea clara de los conceptos, los utiliza de manera incorrecta y responde con ideas alejadas de la visión científica.

Criterio E. No respondió o contestó de manera inadecuada a la pregunta.

Una vez terminado el semestre, los alumnos y el profesor elaboraron una revisión de los contenidos temáticos de la materia; y se aplicó nuevamente el cuestionario, dando paso a la comparación entre las concepciones presentadas antes y después del curso, para establecer si se cumple o no el propósito educativo que la institución marca para sus estudiantes de Biología IV. Al transcribir en este trabajo las respuestas de los alumnos se respetó íntegramente el texto.

Además, se desarrolló y aplicó un cuestionario de aspectos socioeconómicos y de situación académica de los alumnos porque varios autores como Plazas y cols. (2006) mostraron que algunas características económicas influyen en el

rendimiento académico de los estudiantes en distintos niveles educativos. Dicho cuestionario incluía aspectos como: edad, situación académica (regular e irregular, se incluía la pregunta relacionada con el número de materias reprobadas); número de integrantes del núcleo familiar (incluyéndose ellos), número de personas que contribuyen al gasto familiar, tipo de vivienda (propia o rentada), así como el número de cuartos que constituyen ésta, y si contaban con servicio de Internet en casa.

Para realizar el estudio de correlación múltiple entre las distintas variables socioeconómicas y la apropiación de los contenidos relacionados con la evolución biológica y el origen de la biodiversidad, se procedió a transformar dichos criterios en números y obtener así una calificación para cada alumno de acuerdo con el procedimiento descrito en la Tabla 1. Cabe señalar que este cuestionario sólo fue aplicado en la post prueba, es decir al final del semestre.

Tabla 1. Criterios de clasificación transformados numéricamente para realizar el análisis estadístico.

Criterio de clasificación	Significado	N.º asignado
A	El alumno aplica adecuadamente los conceptos; es capaz de relacionarlos con precisión y conforme la visión científica.	4
B	El alumno describe correctamente los conceptos, pero no es capaz de relacionarlos en forma adecuada con respecto a la visión científica.	3
C	El alumno menciona los conceptos, pero no tiene una definición correcta y clara de los mismos; no es capaz de relacionarlos adecuadamente con respecto a la visión científica.	2
D	El alumno no tiene idea clara de los conceptos, los utiliza de manera incorrecta y responde con ideas alejadas de la visión científica.	1
E	No respondió o contestó de manera inadecuada a la pregunta	0

Siguiendo este método, se obtuvo una calificación para cada alumno, una media (con su respectiva desviación y error estándar), y se correlacionó la calificación de los alumnos con las variables socioeconómicas mediante la utilización del programa estadístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versión 14.

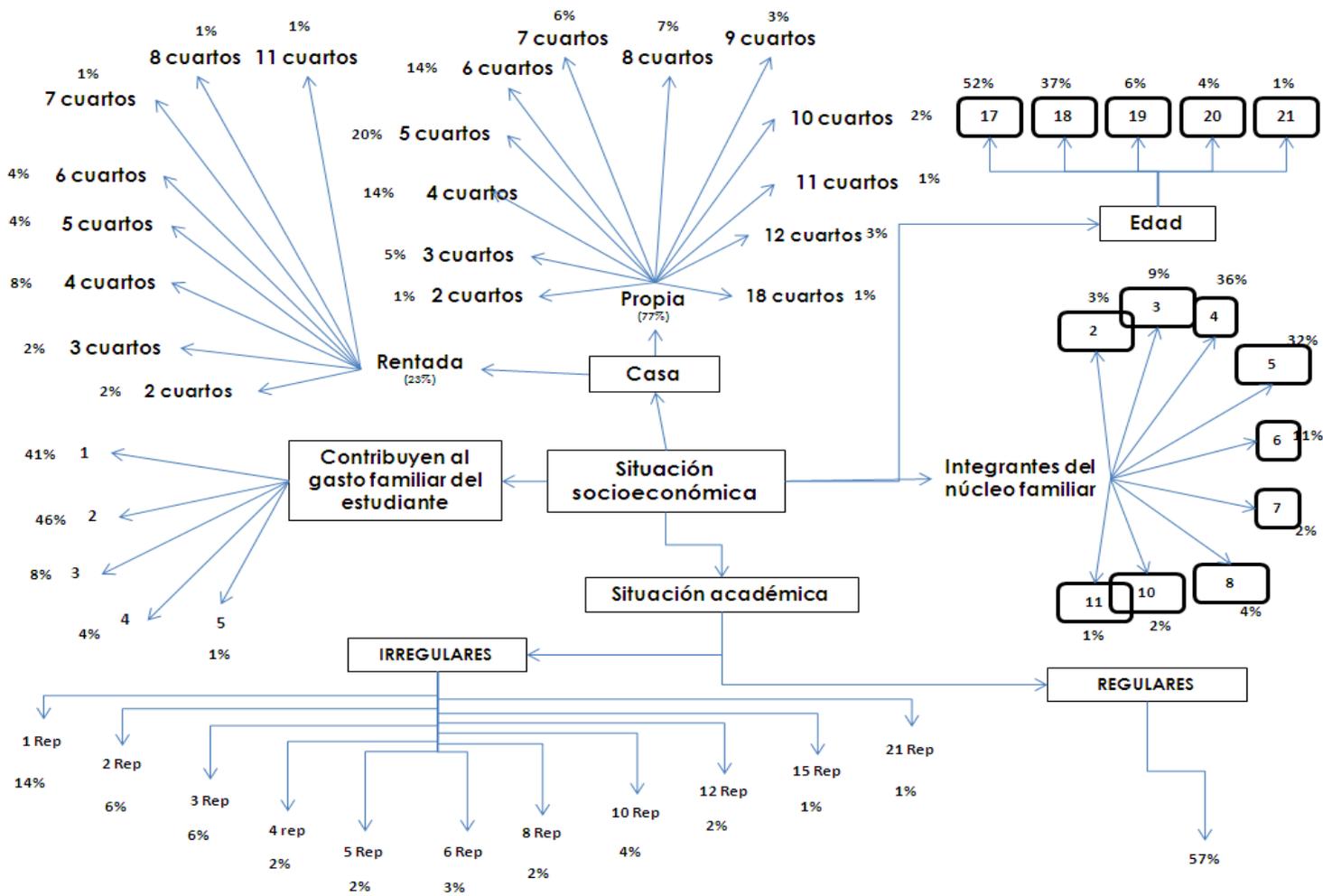
Con este mismo programa, se comparó si había diferencias iniciales en el conocimiento entre cada uno de los grupos mediante un Análisis de Varianza (ANOVA), seguido de una prueba de Tukey, para el caso de que la ANOVA mostrara alguna diferencia estadística considerable, es decir, si el conocimiento que tenían los alumnos de algún grupo era significativamente mayor o menor al de otro grupo estudiado. Este mismo procedimiento se realizó en la post prueba para determinar si en algún grupo se había adquirido una mayor comprensión de los conceptos y procesos estudiados durante el semestre y si ésta era estadísticamente significativa.

Para determinar si había alguna diferencia entre las medias de cada uno de los grupos, antes y después de cursar el semestre, se realizó una prueba *t* de Student.

Para la presentación del análisis comparativo del discurso ofrecido por los alumnos a cada una de las interrogantes planteadas en esta tesis, se estableció el siguiente formato: Se tomó en cuenta si el cuestionario de donde provino la respuesta corresponde a la pre prueba o post prueba (prefijos pre y post) seguido del número de folio asignado, esto con la finalidad de guardar la privacidad de los alumnos.

Resultados

Los resultados del análisis socioeconómico que se realizó a los estudiantes, durante la post prueba, muestran que el rango de edad fue entre los 17 y los 21 años. Del total de alumnos 57.6% de los alumnos era regular, es decir, no adeudaba ninguna materia al momento de realizarse el estudio, mientras que 42.4% presentaba alguna irregularidad, como el adeudo de entre 1 y 21 materias. Con respecto a la situación familiar, se encontraron condiciones múltiples y heterogéneas a partir de núcleos familiares compuestos de dos a once integrantes, mientras que el número de personas que contribuían al gasto familiar, fue de una a cinco personas. En cuanto al tipo de vivienda, 77% de los alumnos habita una vivienda propia y 23% lo hace en vivienda rentada. El número de habitaciones de la vivienda está entre 2 y 18, como se presenta en el Esquema 1.



Esquema 1. Aspectos socioeconómicos de los alumnos.

Los resultados que se presentan en las Figuras 1 a 13 corresponden al análisis general de la evaluación del discurso de los alumnos vertido en el cuestionario. Su comparación permitió evaluar el dominio y la comprensión de los contenidos biológicos de los alumnos antes y después de tomar el curso de Biología IV. Los resultados mostrados en las figuras muestran el grado de alcance y cumplimiento del propósito de la Unidad 2 del Plan de Estudios de la asignatura de Biología IV del CCH: “que los alumnos comprendan que la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad”. Esto expresado en porcentajes de acuerdo con los criterios de clasificación descritos en Métodos.

En la Figura 1, se muestra el acumulado de todas las respuestas generadas por los alumnos y el criterio de clasificación correspondiente a las mismas antes y después de cursar la materia; la mayoría de los alumnos presentaron un manejo inadecuado de los conceptos, ya que no fueron capaces de ordenarlos y secuenciarlos o inclusive llegaron a confundirlos al explicar diferentes hechos observados en la naturaleza (criterio de inclusión C). En el análisis previo al curso, se generaron 1,596 respuestas, de las cuales 225 (14.1%) corresponden a aquellas en que los alumnos manejan y aplican adecuadamente los conceptos y son capaces de relacionarlos de modo correcto con respecto a la visión científica (criterio de clasificación A), mientras que en 341 respuestas (21.4%) se describen los conceptos correctamente, pero no se relacionan con precisión a la visión científica (criterio de clasificación B). Se obtuvieron 638 respuestas (40%) en el criterio de clasificación C, en las que los alumnos mencionan los conceptos pero no tienen una definición correcta de los mismos ni son capaces de relacionarlos adecuadamente con respecto a la visión científica. También se obtuvieron 322 (20.2%) respuestas clasificadas como D, en las que los alumnos no tuvieron una idea clara de los conceptos y respondieron con ideas alejadas de la visión científica. Finalmente, se presentaron 70 eventos (4.4%) con nula cooperación (criterio E).

En el análisis posterior al curso de Biología IV, se obtuvieron un total de 1,584 respuestas debido a la disminución en el número de alumnos por deserción en cada uno de los grupos. Se obtuvo un comportamiento similar al presentado en la preprueba: la mayoría de las respuestas generadas por los alumnos, es decir 453 (28.6%) correspondieron al criterio de clasificación C, 369 (23.3%) correspondieron al criterio de clasificación D; 363 (22.9%), al criterio de clasificación B y 340 (21.5%), al criterio de clasificación A; sólo se presentaron 59 eventos (3.7%) poco acordes o no cooperativas para el estudio (criterio E). Aumentó en 7.4% el porcentaje de respuestas apegadas a la visión científica (criterio A), pasando de 14.1 a 21.5%; el número de respuestas del tipo B, aumentó en 1.5%; hubo un menor número de respuestas correspondientes al criterio C, lo que indica un mejor manejo de los conceptos pero falta de dominio, integración y contextualización de los mismos, disminuyendo de 40 a 28.6% ; esto quizá se deba a que los alumnos que generaron estas respuestas lograron afianzar conocimientos más acordes a la visión científica una vez que cursaron la materia, lo que explica el repunte en el número de respuestas correspondientes a los criterios A y B, lo que correspondería a una adecuada intervención docente de los profesores del Colegio. Aumentó en 3.1% el número de respuestas clasificadas como D, pasando de un 20.2 a un 23.3%; cabe señalar que este criterio agrupa respuestas en las que los alumnos tenían ideas alejadas de la concepción científica y en las que se presentaba un manejo equívoco de los conceptos abordados durante nuestro estudio. Por otra parte, se observó un número de respuestas del tipo E, pasando de 4.4 a 3.7%, lo que corresponde a un 0.7%, indicador de que una muy menor cantidad de respuestas se quedaron sin contestar por parte de los alumnos. El comportamiento general observado en la Figura 1 muestra que, a pesar de que hay un aparente repunte en el número de respuestas del tipo A y B, éste no es el deseado, ya que la mayoría de los alumnos no logró apropiarse de los conceptos relacionados con el proceso evolutivo de manera clara, presentándose grandes deficiencias en cuanto al aprendizaje y significado de estos contenidos.

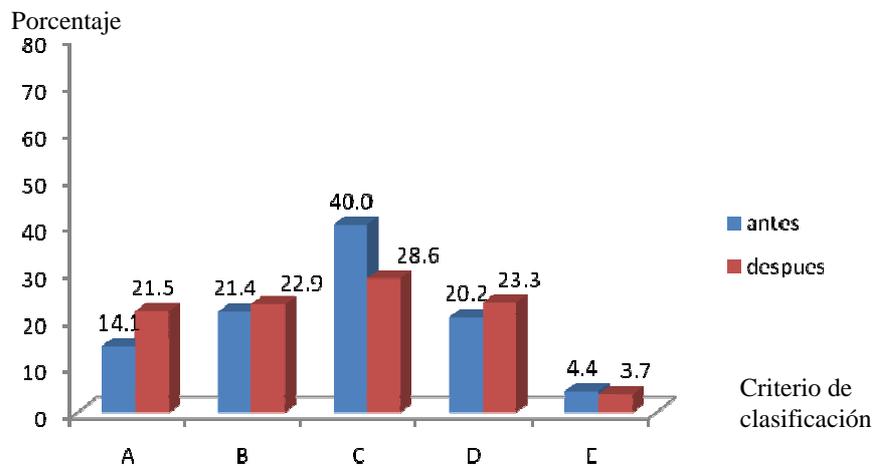


Figura 1. Acumulado de respuestas generadas por los alumnos del cuestionario diagnóstico, tanto antes (pre prueba) como después (post prueba) de haber cursado la materia de Biología IV en el CCH Plantel Oriente.

Los resultados presentados en la Figura 2 muestran que al inicio del semestre los alumnos presentaban concepciones muy variadas con respecto a ¿Cómo es que se genera la variabilidad al interior de las especies?: 10.3% de ellos contestó de manera acertada (criterio de clasificación A), y sólo 21.4% presentó ideas alejadas de la concepción científica (criterio D). La mayoría de la población estudiada se ubicó en los criterios de clasificación B y C, lo que nos indica que los alumnos contestan con los conceptos adecuados pero no son capaces de darle un sentido correcto a los mismos o presentaron deficiencias en el manejo y explicación, indicio de aprendizaje exclusivamente memorístico. En la evaluación realizada al final de semestre, los alumnos contestaron de mejor manera, ya que aumentó el número de respuestas del tipo A, en un 6.4%, pasando de 10.3 a 16.7%; no se presentaron reactivos sin contestar (criterio E) y disminuyó en 4.7% el número de respuestas del tipo D; el número de respuestas del tipo C (0.8%) se incrementó muy poco.

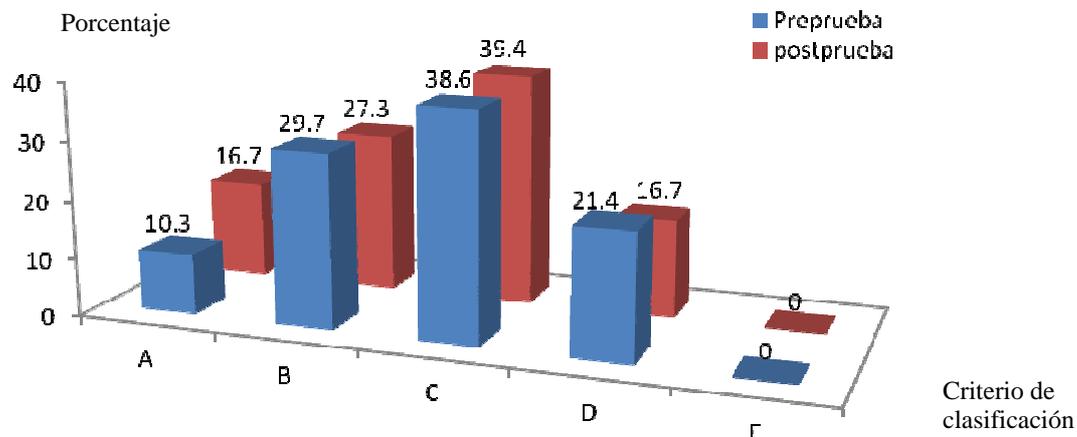


Figura 2. Respuestas a la pregunta ¿Cómo explicamos que encontremos distintas variedades de perros?, ¿A qué se debe tanta variedad? ¿Qué la genera?

A continuación mencionamos algunos ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación desarrollado:

Criterio A. pre024: *Se debe a la recombinación genética, mutaciones o alteraciones de genes, distribuciones geográficas, adaptaciones los cuales generan variabilidad en razas, tamaños, etc.* pre041: *A toda la diversidad genética y también en gran parte por las mutaciones que surgen en los materiales genéticos.*

Criterio B. pre038: *Por la recombinación genética de genes, y genera una mayor diversidad de especies de perros.* Mientras que pre040 contestó: *Por la combinación genética entre dif razas de perros.*

Criterio C. pre034: *La variabilidad genética al combinarse los genes.* Mientras que, pre035 contestó: *Podría ser que dos diferentes razas de perros se reproducen dando como resultado una nueva raza, con características de ambos perros.*

Criterio D. pre046: *El clima influye más que nada a que existan diferentes especies caninas.* Mientras que, pre049 contestó: *En diferentes países hay diferentes tipos de clima, alimentación que hace que exista distintas variedades.*

Criterio E. pre052 y pre054 no contestaron.

En la pregunta 2 (Figura 3) “Una mutación poco frecuente en la bacteria *Escherichia coli* causa resistencia a la estreptomicina. Si se cultiva *Escherichia coli* en un medio con estreptomicina, se observa gran aumento en el número de bacterias resistentes. Explica este hecho”.

Los resultados en la pre prueba mostraron que 57.9% de los estudiantes presentaron ideas alejadas de la concepción científica (criterio D), 5.5% presentó ideas cercanas a la concepción científica (criterio A) y 33.1% se debatió entre el manejo de los conceptos, pero con deficiencia en la explicación de los mismos (criterios B y C).

En la post prueba los alumnos respondieron de peor manera ya que aumentó 8% el número de respuestas del tipo D y disminuyeron las respuestas del tipo B y C (1.8 y 10.9%, respectivamente); asimismo, se presentó un ligero aumento (2.1%) en el número de respuestas del tipo A (Figura 3).

La mayoría de las respuestas de los alumnos expresan ideas relacionadas con el “sobre adaptacionismo” o el modelo *Programa Adaptacionista* descrito por Gould y Lewontin (1979), es decir, los alumnos atribuyen los cambios en los organismos a la adaptación al medio ambiente de manera voluntaria, entendiendo que toda característica es adaptativa y se desarrolló con una finalidad concreta.

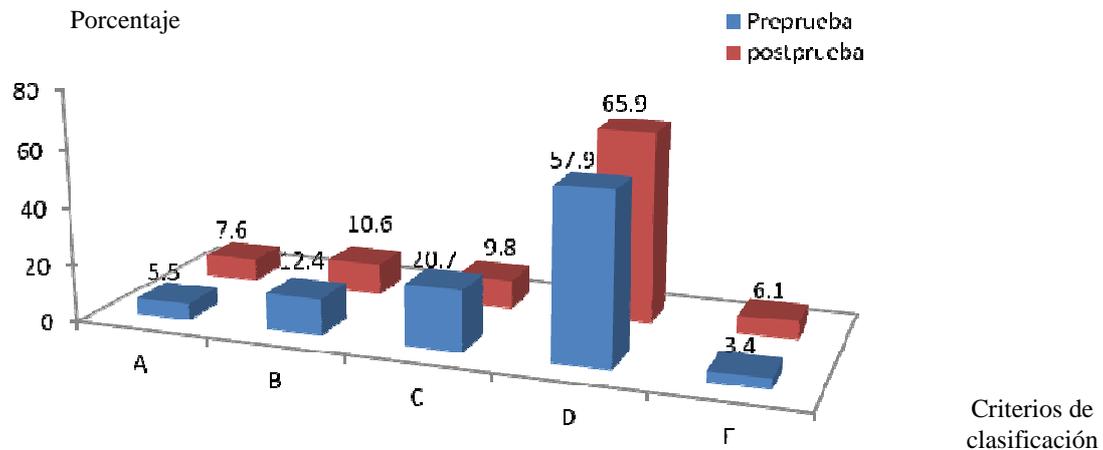


Figura 3. Respuestas a la pregunta: Una mutación poco frecuente en la bacteria *Escherichia coli*, causa resistencia a la estreptomicina. Si se cultiva *Escherichia coli*, en un medio con estreptomicina, se observa gran aumento en el número de bacterias resistentes. Explica este hecho

Algunos ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación son:

Criterio A. pre078: *Porque obviamente van a sobrevivir más bacterias Escherichia coli resistentes a la estreptomicina y éstas van a ser las únicas que se van a reproducir y se volverán a reproducir, y sus hijos van a nacer con la característica de resistencia a este antibiótico (estreptomicina).* pre024: *Puesto que la bacteria Escherichia coli fue cultivada en un medio con estreptomicina, la población se reducirá mucho quedando sólo la población resistente, lo cual dejará descendencia mucho mejor adaptada y cada vez más resistente a la estreptomicina (adaptación y mutacion).*

Criterio B. pre031: *La estreptomicina favorece a la bacteria ayudándola a sobrevivir o adaptándose a las condiciones en las que se encuentra, puesto que se sigue reproduciendo y adquieren nuevas características ya sea que las nuevas salgan con un mecanismo de defensa o ellas sólo se hagan resistentes al antibiótico.* pre143: *Es porque la bacteria Escherichia coli no se ve afectada por la estreptomicina, causando de esta manera que las bacterias se sigan reproduciendo sin que se afecte su desarrollo.*

Criterio C. pre072: *Es por la mutación que sufre debido al medio donde habita; es un sistema de adaptación para poder sobrevivir.* pre093: *Yo creo que es porque dicha bacteria se va adaptando al medio y con el tiempo se acostumbra a las condiciones en las que está y la hace resistente.*

Criterio D. pre013: *Quizás se debe a que la estreptomicina contenga algo, una sustancia o algo por el estilo, que haga que las bacterias en conjunto sean resistentes.* pre021: *Puede ser que por lo mismo de que las bacterias están en medio de la estreptomicina, al ser más, la combata, y esto haga que sea más resistente.* pre50: *La bacteria no puede ser exterminada, por eso toma la estreptomicina, para sobrevivir.*

Criterio E. pre45 y post 112 no contestaron.

Con respecto a la pregunta 3, que se refiere al conocimiento del proceso de especiación y a los procesos implicados en éste (Figura 4), en la pre prueba 45.5% de los alumnos presentaron un conocimiento del concepto, pero no tenían suficientemente claros los procesos asociados (criterio C); por otro lado, 1.4% de los alumnos entrevistados contestó de manera acertada y supo dar una explicación apegada a las concepciones científicas (criterio A); entre tanto, 39.3% contestó de manera alejada de esta visión (criterio D). Éste fue uno de los conceptos en que menor dominio y apropiación se observó, de hecho, una contestación recurrente fue que el proceso que da origen a nuevas especies es llamado mutación, adaptación o selección natural.

En la post prueba aumentó 8.4% el número de respuestas correspondientes al criterio de clasificación A, y en el criterio B, el aumento fue de 4.3, disminuyó 13.7% el número de respuestas del tipo C, y el número de respuestas del tipo D en 0.7%. %, Esto indica un aprendizaje del concepto de especiación mejor que los anteriores, pero no suficiente para los propósitos de un proceso exitoso.

Porcentaje

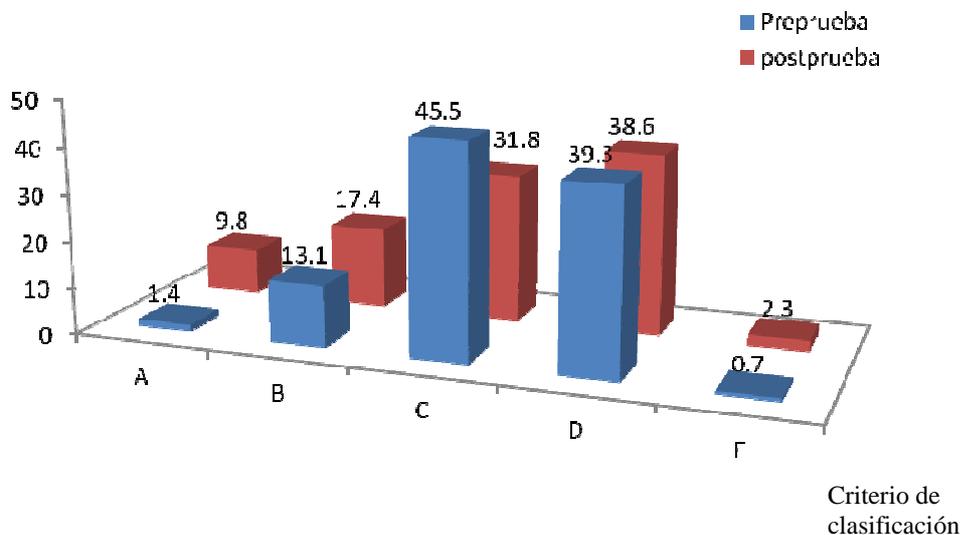


Figura 4. Respuestas a la pregunta ¿Cómo crees que se generan o se generaron las especies? ¿Cómo se le llama al proceso que produce este fenómeno?

Ejemplos de las respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. post38: *se llama especiación y para que se de influyen factores genéticos y barreras ambientales.*

Criterio B. pre042: *Pues creo que cuando una especie es sometida en diferentes condiciones, cada una se adapta a su entorno generando nuevas características y perdiendo algunas, generando así una especie nueva.* pre069 explica: *Se llega a este caso cuando existen cambios de gran magnitud dentro de una especie al grado de que los nuevos individuos no pueden reproducirse con su especie original.*

Criterio C. pre02: *Las especies nuevas se generan con la adaptación de nuevos individuos de una especie a los cambios en su medio natural (presas, depredadores, climas, etc.), no sé cuál de los nombres sean correctos, selección natural, evolución.* pre04: *Mutación, y esto es por el cambio de hábitat de alimentación para sobrevivir.*

Criterio D. pre06: *Por la combinación de genes en donde los predominantes toman gran importancia en esto y así.* pre041: *Por la combinación de material genético y*

la forma en que se desarrolle. pre141: A la adaptación. pre139: Evolución y por la cruce de especies de distinto o igual sexo.

Criterio E. pre138 no contestó

En la pregunta 4 ¿Qué características presenta la República Mexicana para que sea un país megadiverso? (Figura 5), los alumnos mostraron tener un escaso dominio de este contenido biológico al inicio del semestre, ya que la mayoría de las respuestas correspondieron al criterio de clasificación C (73.1%); llamó la atención que sólo 4.1% de los alumnos contestó de manera acertada (criterio A), 15.2% de ellos tenía ideas un tanto confusas, pero lograron incorporar distintos conceptos a sus respuestas (criterio B). Un 6.2% de los alumnos contestó en el criterio D y 1.4% de las respuestas fueron abstenciones (criterio E).

Las respuestas en la post prueba mostraron una cantidad menor de las tipo C (45.5 %) lo cual contrastó en forma considerable con el 73.1% obtenido en la pre prueba, lo que implica una disminución de 27.6%; esto explica el aumento en el número de respuestas del tipo A y B, las cuales se incrementaron en 10.3% y 13.6%, respectivamente; aunque se observó un aumento de 4.4%, en el número de respuestas del tipo D hubo disminución en las del criterio E.

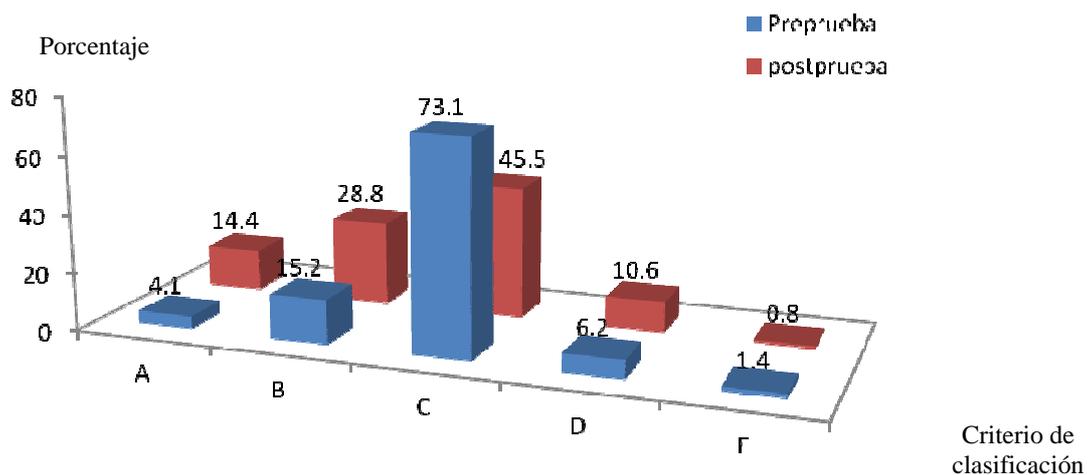


Figura 5. Respuestas a la pregunta ¿Qué características presenta la República Mexicana para que sea un país megadiverso?

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. pre124: *Porque cuenta con una gran cantidad de especies como aves, reptiles, anfibios, además de sus ecosistemas, y que van desde el desierto hasta la selva.* pre031: *Debido a que presenta una gran variedad de flora y fauna, también cuenta con muchos endemismos y sus regiones extraordinariamente favorables para la siembra hacen de México un país muy rico y diverso.*

Criterio B. pre05: *Tiene mucha variedad en cuanto a clima, recursos, lo que provoca que sea un lugar idóneo para muchos seres vivos.* pre060: *México tiene una gran variedad de climas y características geográficas que benefician a los organismos que habitan en ella.*

Criterio C. pre069: *Su territorio presenta un amplio menú de climas, temperaturas y ecosistemas; esto debido, entre otras cosas, a su localización geográfica.* José pre072: *Debido a que tiene una gran variedad de ecosistemas, con características diferentes que hacen a cada especie diferente.*

Criterio D. pre070: *Por estar cerca del Polo Norte y el Ecuador.* pre107: *Debido a que presenta una serie de personas con aspectos distintos cada una, unos son morenos, otros blancos, unos chaparros, otros altos.* pre134: *Debido a la política alimentaria y al mestizaje, porque a la llegada de los españoles hubo una combinación de razas, lo que se expandió y trajo diversas poblaciones.*

Criterio E. pre06 no contestó.

En las respuestas a la pregunta 5 ¿Por qué México tiene una gran variedad de climas? (Figura 6), los alumnos mostraron en la pre prueba tener un escaso dominio de este contenido, ya que 51% de las respuestas encajaron en el criterio de clasificación C; llama la atención que sólo 2.8% de los alumnos contestó de manera acertada a la pregunta (criterio A), 11.7% de ellos tenían ideas confusas, pero lograron incorporar distintos conceptos a sus respuestas (criterio C), 29.7% tenían ideas alejadas de la concepción científica (criterio D) y 4.8% de las respuestas fueron poco cooperativas para el estudio (criterio E).

Los resultados en la post prueba mostraron una tendencia similar dado que la mayoría de las respuestas (55.3%) fue catalogada en el criterio C, lo que indica que los alumnos tienen ideas vagas con respecto a ¿Por qué México tiene una gran variedad de climas? El aumento en sólo 4% del número de respuestas pertenecientes al criterio A y 3.5% del criterio B, indica una muy baja mejoría en el dominio y apropiación de este contenido en particular. El leve aumento en los criterios A, B y C probablemente se deba a la disminución en el número de respuestas al criterio D, lo que significa que esos alumnos pasaron de tener ideas completamente erróneas y alejadas de la visión científica a tener ideas cada vez más cercanas a las ofrecidas por la ciencia.

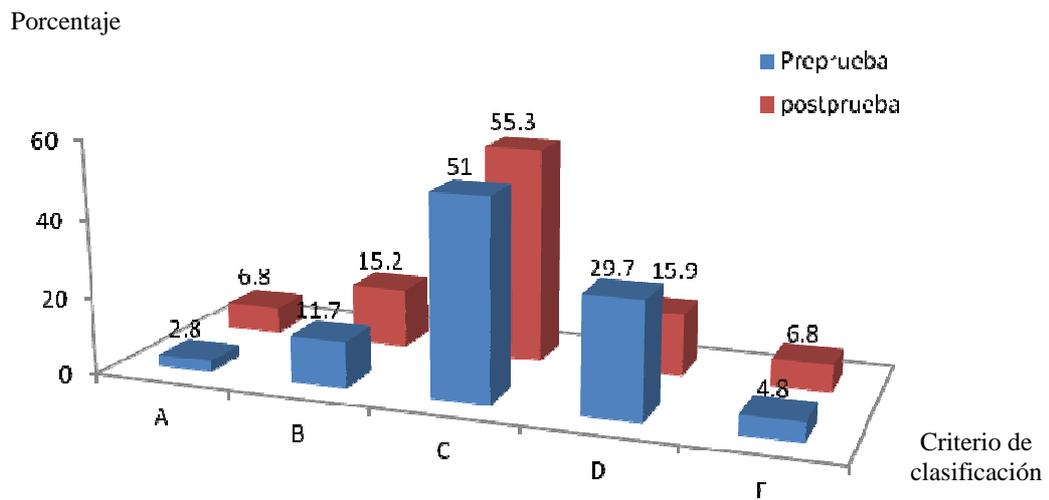


Figura 6. Respuestas a la pregunta ¿Por qué México tiene una gran variedad de climas?

Criterio A. pre031: *Debido a la ubicación del país en el globo, a la exposición del sol a lo largo del año, y a que tiene una gran cantidad de relieves a diferentes altitudes y se encuentra entre una zona fría y otra cálida, y a que ambos lados tienen mares y llegan vientos con diferentes corrientes cálidas y frías o como*
 post012: *por su localizacion en el plano geografico, por que esta en primer lugar rodeado a los costados por el golfo de mexico y el oceano, esto proporciona*

humedad, así también presenta planicies y altiplanicies lo que nos da diferentes altitudes y por que esta en zona fría en un lado y tropical en otra .

Criterio B. pre017: Quizá porque el lugar en el que nos encontramos dentro del continente, así también provocando diferentes latitudes y altitudes al nivel del mar y por los relieves, etc. pre23: Esto se debe al relieve o a la posición geográfica en la que se encuentra, pues está en medio de los polos.

Criterio C. pre049: Por su ubicación geográfica. pre051: Debido a que está situado en un punto favorable para dar diversos tipos de climas.

Criterio D. pre025: Por sus propiedades terrestres y altitud. pre53: Esto se debe a su ubicación, ya que estamos rodeados de diversos climas. pre062: Por las condiciones de medio y sus caract. que conyevan a una variedad de diferentes que en consecuencia se genera un centro de variabilidad.

Criterio E. Alumnos como pre02 no contestaron al cuestionamiento.

Con respecto a las preguntas 6 y 7 y ¿Qué efectos tiene la extinción de las especies en los ecosistemas y en la vida humana? y ¿Por qué se extinguen las especies? respectivamente (Figura 7), encontramos que en la pre prueba 22.1% contestó en concordancia con el criterio A; sólo 3.4% contestó de acuerdo con el criterio D, mientras que 46.9 y 27.6% contestaron con los criterios B y C, respectivamente; y ninguna pregunta quedó sin contestar (criterio E). En la post prueba se encontró grandes un incremento de 3.7% en el criterio A, una disminución de 6.7% en el criterio B; 1.1% en el criterio C; y un ligero aumento de 4.2% en el criterio D; en tanto que en el criterio E, no se observó ningún cambio.

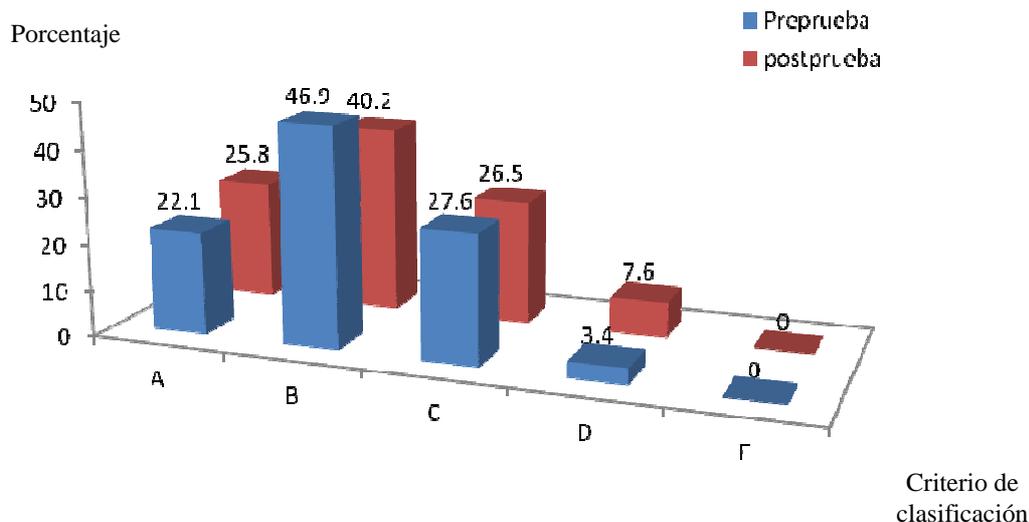


Figura 7. Respuestas a la pregunta ¿Qué efectos tiene la extinción de las especies en los ecosistemas y en la vida humana? ¿Por qué se extinguen las especies?

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. pre107: *Por la destrucción de su hábitat y el separarlos de éste, si las especies se extinguen, el ser humano no podrá vivir ya que las especies son parte de la convivencia y algunas del alimento, los ecosistemas necesitan los animales, porque cuando éstos mueren sirven como materia orgánica para el crecimiento de las plantas y con ellas nuestro O₂.* pre090: *Creo que una de las principales causas de la extinción de especies es el hombre, ya que para poder satisfacer sus necesidades es necesario matar animales, y por tanto hay sobre explotación y se acaban, otra es tal vez los animales necesitan cambiar de abitat y no se acostumbran a él y van muriendo.*

Criterio B. pre137: *Se pueden extinguir por la excesiva caza y poca conciencia de cuidar las especies.* pre130: *Las especies se pueden extinguir por muchos factores entre los que destacan los efectos humanos. Si una especie de peces se les coloca otro tipo de peces (de otro lugar) una de ellas no sobrevivirá por instinto de supervivencia y por pelear el territorio y si las especies se extinguen se romperá la cadena de alimentación y posiblemente nos afecte a nosotros, nos afecte en un futuro.*

Criterio C. pre120: *Existen varias causas que provocan la desaparición de especies, una de ellas es la cacería, que es la causante de que varias especies estén en peligro de extinción, otra causa es más bien evolutiva, ya que las especies al no tener los medios para poder sobrevivir en un ecosistema desaparecen.* pre129: *Un factor es que la mano del hombre interviene en su hábitat, perjudicando el ambiente. Otro puede ser que algunos animales sean víctimas de depredadores o que el clima cambie y éste no se adapte.*

Criterio D. pre134: *Por la caza o que falta de cazadores primarios, hay una sobrepoblación en las presas y el alimento escasea llevándolas a su extinción o la caza humana.*

Criterio E. No se registraron contestaciones no cooperativas.

En la pregunta 8 (Figura 8), la pre prueba mostró 44.8% en el criterio A, 17.9% en el criterio B; 15.2% en el criterio C y 21.4% en el criterio D.

En la post prueba, no hubo diferencias ya que en las respuestas del tipo A, la diferencia fue de 0.9%, en las de tipo B fue de 0.5% y el porcentaje de respuestas del tipo C se mantuvo sin cambios, las diferencias en los tipos D y E fueron de 0.9 y 2.3%, respectivamente. Con base en estos datos, podemos afirmar que casi 60% de los alumnos entrevistados no progresaron en la adquisición del conocimiento de *¿Cómo se transmite la herencia?*, ya que tienden a asociar los cambios a la necesidad; es decir, varios de los estudiantes contestaron que los ratones seguían naciendo con cola porque para algo la necesitan, y que mientras la necesiten les seguirá creciendo, o que como se les cortaba la cola ésta con el paso del tiempo se atrofiaría y ya no les crecería, en tanto que alrededor de 40% de los alumnos contestó de manera acertada: que los cambios que realizaba el naturalista eran físicos y que, en tanto que no hubiera un cambio genético que se transmitiera a la descendencia, el rasgo seguiría expresándose.

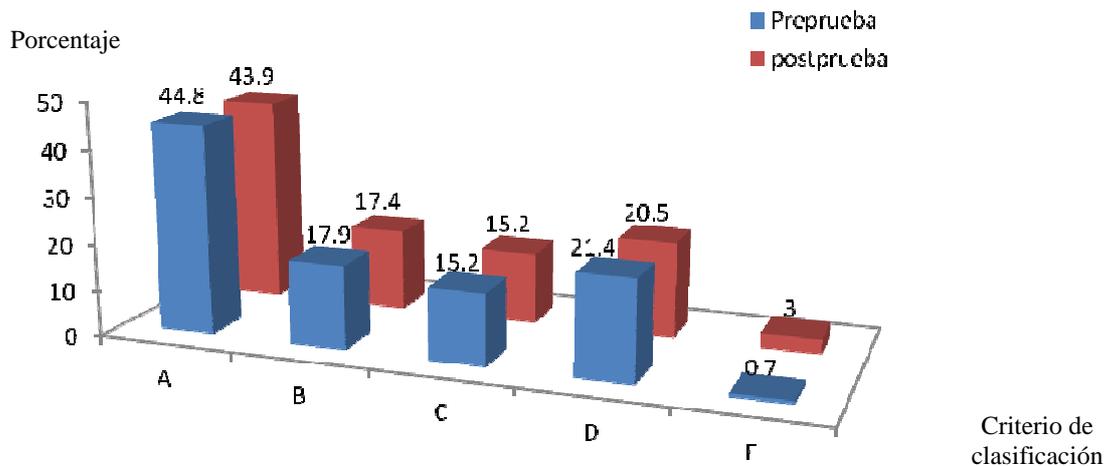


Figura 8. Respuestas a la pregunta: A principios de siglo, un naturalista realizó un experimento consistente en cortar, durante varias generaciones, la cola a unos ratones para ver qué pasaba con la descendencia. ¿Qué crees que sucederá al cabo de 20 generaciones? ¿Nacerán con cola o sin cola? Explícalo

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. pre035: *Nacerán con cola pues no se ha modificado su ADN.* Pre044: *Seguirán con cola porque fue sólo un cambio físico y no genético.*

Criterio B. pre04: *No pasa nada porque al final de cuentas tienen la información genética de la cola larga y sólo que se cruzara con un hámster podría ocurrir un flujo génico, pero si no, no afecta en nada.*

Criterio C. pre092: *Con cola porque no modificó sus genes, aunque si nacen sin cola sería porque se adaptó o algo así.* pre070: *A la generación 21 le salió cola porque Darwin se equivocó.* pre046: *Nacerán con rabo porque aunque a los ratones se les corte la cola, aun dentro de ellos se queda el músculo de ella.*

Criterio D. pre145: *Yo creo que nacerán sin cola porque se adaptarán a estar sin ella.* pre02: *Estarían sin cola porque sería como en la teoría del uso y desuso.* Brenda: *Sin cola, ya que cuando se adaptan a la forma de vivir sin cola en determinado momento nacerán sin cola.*

Criterio E. pre094 que no sabía.

Con respecto a la pregunta 9 ¿Cuál es la diferencia entre razas y especies? (Figura 9), se encontró en la pre prueba una gran deficiencia en el manejo de estos conceptos, ya que a los alumnos no les quedaba claro el concepto biológico de especie, pues sólo 6.9% de ellos contestó con una idea cercana a la concepción científica del concepto (criterio A); 31.7% de ellos contestó de acuerdo con el criterio B; 43.4% en el criterio C); 14.5% en el criterio D.

En la post prueba sólo se incrementaron 2.9% las respuestas correspondientes al criterio A, pasando de 6.9% a 9.8%; en el criterio B, aumentaron de 31.7 a 39.4%, lo que explica en parte el menor número de respuestas correspondientes al criterio C (disminución de 13.1%). Lo anterior significa que alrededor de 12% de los alumnos mejoraron su comprensión de los conceptos correspondientes al concepto biológico de especie.

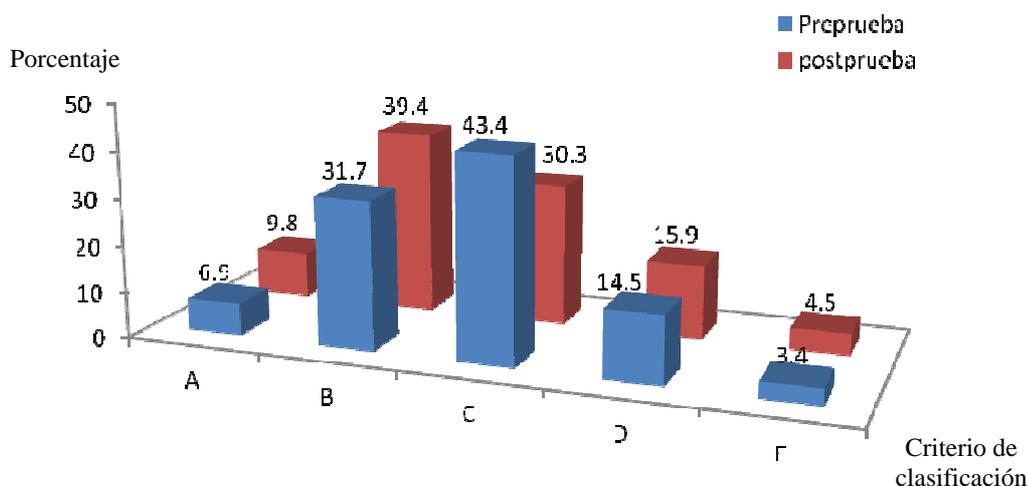


Figura 9. Respuestas a la pregunta ¿Cuál es la diferencia entre razas y especies?

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. pre31: *Especie es un término muy amplio puesto que comprende a organismos que comparten características muy similares, pero que entre ellos pueden haber variaciones a los que denominamos razas.* pre028: *Las razas son el producto de la variabilidad de las especies.*

Criterio B. pre001: *La especie es el tipo de animal, vegetal, la raza es de la misma especie con diferente aspecto.* pre105: *Raza es la división de color, tamaño o forma y la especie es todos los seres con las mismas características.*

Criterio C. pre098: *Las razas son variaciones de especies y las especies son seres vivos especializados a un medio.* pre079: *Especies es el tipo de animal ya sea aves, peces, perros, etc., y las razas son las características que diferencian a las aves como una que su pelaje es amarillo y el de otra son que su característica es el pico.*

Criterio D. pre082: *Razas: perros, especies plantas.* pre083: *Especies son la biodiversidad y las razas son los diferentes tipos.* Pre085: *La diferencia es el tipo de alimentación y su ubicación geográfica.*

Criterio E. pre143 no sabía lo mismo que pre144 y pre145

Para la pregunta 10 ¿Qué efectos tienen las mutaciones en los individuos y en las poblaciones? (Figura 10), observamos que al inicio del semestre la mayoría de los alumnos del Colegio (49.7%) reconocía qué son las mutaciones, pero tenían deficiencias en el manejo y la ejemplificación de su papel evolutivo (criterio C), mientras que sólo el 2.8% reconocía qué son y qué papel juegan en los individuos y en las poblaciones (criterio A). El 24.1% de ellos manejaba el concepto de mutación y su papel evolutivo, pero no eran capaces de darle un sentido estrictamente científico (criterio B); en tanto, 16.6% tenía ideas alejadas de la visión científica (criterio D), y 6.9% de los alumnos no contestó o no cooperó (criterio E).

Al finalizar el semestre, los datos obtenidos en el cuestionario mostraron que el número de alumnos que mejoró su comprensión del concepto de mutación y de su papel evolutivo aumentó 6.3%, pasando de 2.8 en la pre prueba a 9.1% en la post prueba (criterio A); también se reportó un aumento de 3.2% en el número de respuestas correspondientes al criterio B, y una disminución de 5.8% en las respuestas del tipo C; de la misma manera, se obtuvo un menor número de respuestas del tipo E, alrededor del 5.4%.

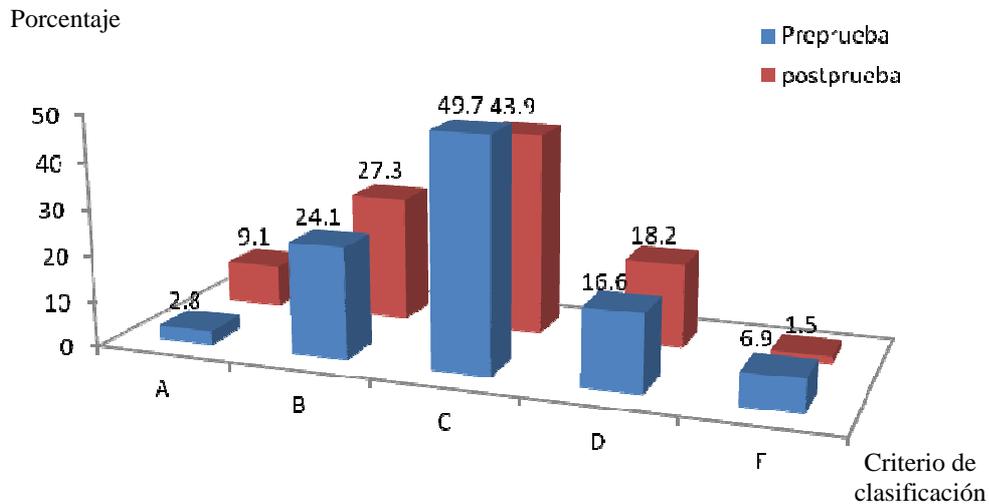


Figura 10. Respuestas a la pregunta ¿Qué efectos tienen las mutaciones en los individuos y en las poblaciones?

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. pre136: *Pueden ser imperceptibles o muy notoria; si un individuo mutado se reproduce, es muy probable que se transmita su mutación (o puede que muera con él y nadie lo recuerde), todo varía.* pre142: *Las mutaciones provocan variabilidad genética, la mutación puede ser muy notoria o pasar desapercibida ante los demás. En algunas de ellas pueden presentarse irregularidades como discapacidades físicas, enfermedades, et. Este factor también puede influir para definir una región determinada y, por ende, una población.*

Criterio B. pre140: *Las mutaciones pueden tanto favorecer como estropear las características de alguna especie.* pre073: *Sólo provocan que los individuos tengan cambios en sus genes.* pre074: *Las mutaciones producen las mejoras en las especies, mejor adaptación al medio o resistencia a las enfermedades o a las plagas.*

Criterio C. pre084: *Las mutaciones crean nuevas especies o humanos .diferentes (piel, ojos, color).* pre085: *Las mutaciones cambian las siguientes generaciones y crean una nueva especie.*

Criterio D. pre057: *Las mutaciones, según la región o el clima en el que se encuentren, pueden favorecer la resistencia a un ecosistema.* pre059: *Las mutaciones provocan que vayan disminuyendo la probabilidad de que incremente la población y que haya cambios en diversos seres.*

Criterio E. pre091 que no sabía y pre143 respondió de manera similar.

Con respecto a la pregunta 11: En varios estudios paleontológicos se han encontrado restos fósiles idénticos en África y en Sudamérica o en Australia y en la Antártida ¿A qué crees que se deba? (Figura 11), al inicio del semestre 48% reconocía los motivos por los cuales se pudieran encontrar restos fósiles similares en dos continentes separados, sólo que no dominaban todos los aspectos involucrados en este hecho (criterio C), y sólo 17% presentó ideas alejadas de la concepción científica (criterio D).

En la post prueba se detectó, una mejoría en el dominio de los contenidos biológicos necesarios para explicar la dispersión de los animales en el registro fósil, evidenciado por un aumento de 21% en el criterio A; un incremento de 5.1% en las respuestas del tipo B, una disminución en las respuestas del tipo C aunque un leve aumento de 0.4 y 0.5% en las respuestas del tipo D y E, respectivamente. Con estos resultados afirmamos que los alumnos integraron los contenidos geológicos y paleontológicos con los biológicos.

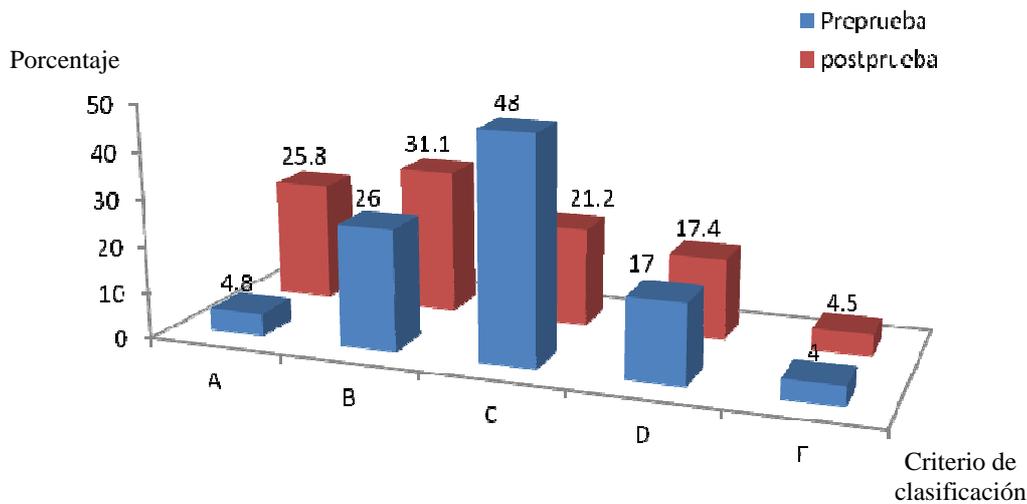


Figura 11. Respuestas a la pregunta: En varios estudios paleontológicos se han encontrado restos fósiles idénticos en África y en Sudamérica o en Australia y en la Antártida ¿A qué crees que se deba?

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. pre014: *Supongo que como al principio todos los continentes estaban unidos, o sea la pangea, todos los individuos de una o varias especies se esparcieron por todos lados y al separarse el supercontinente, es por eso que hay restos fósiles similares en todos lados.* pre107: *En un principio hubo un solo continente, la pangea, en éste se encontraban diversas especies que se prolongaban por todo el continente, por ello al separarse, por diversos fenómenos, se encuentran fósiles por todo el mundo.*

Criterio B. pre011: *Los continentes con el tiempo se han ido dividiendo o separando.* pre028: *Antes de que se formaran los cinco continentes existía uno solo (pangea), y al estar todo concentrado en un solo lugar de la Tierra, el clima no era adecuado para la variabilidad de especies, por eso los restos son idénticos.*

Criterio C. pre015: *A que probablemente existieron especies capaces de adaptarse a distintos climas y ambientes sin cambiar en nada o sólo un poco.* pre016: *Puede ser por la migración, como las aves, puede que lleguen a otro país y reproducirse allá, claro mientras que los recursos y el ambiente le permitan sobrevivir.*

Criterio D. pre34: *Antes todos los fósiles podían ir de un lugar a otro gracias a la era del hielo, al ser nómadas.* pre046: *Debido a que no eran sedentarios.*

Criterio E. pre122 mencionó que no tenía idea.

Con respecto a la pregunta 12 ¿Cómo se denomina al proceso mediante el cual el medio ambiente elimina algunos organismos con características poco favorables? (Figura 12), encontramos en la pre prueba que 49.7% contestó de manera adecuada a la visión científica (criterio A); sólo 8.3% de los alumnos contestó con alguna idea alejada de la concepción científica (criterio D). Estos valores podrían deberse a un aprendizaje correcto del concepto y a que no se les pidió la aplicación de éste en un estudio de caso. Es de llamar la atención que el número de alumnos que contestó dentro del criterio A en la post prueba fue de 81.8% lo que significa un incremento de 32.1%, reduciéndose el número de respuestas de los demás criterios.

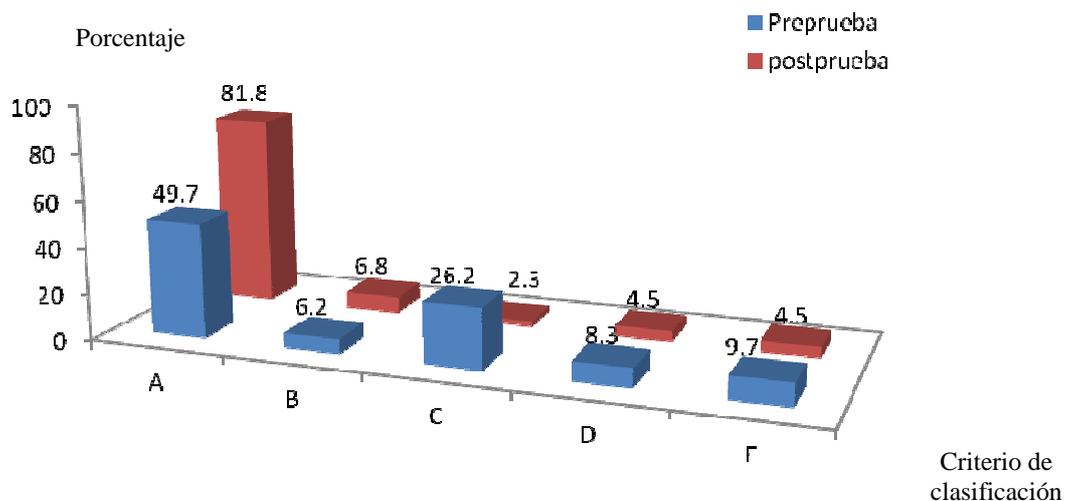


Figura 12. Respuestas a la pregunta ¿Cómo se denomina al proceso mediante el cual el medio ambiente elimina algunos organismos con características poco favorables?

Ejemplos de respuestas de cada criterio de clasificación:

Criterio A. post003: *Selección Natural en la cual en una especie hay variabilidad individual lo que hace que tengan diferentes características que dependiendo del ambiente en el que se desenvuelvan les favorecerá o bien no les favorecerá y los*

que tengan características favorables podrán sobrevivir y reproducirse y procrear descendencia fértil.

Criterio B. pre138: *Supervivencia del más apto.* pre036: *Supervivencia del más fuerte.*

Criterio C. pre131: *Adaptación.* pre049: *Es la extinción.*

Criterio D. pre048: *La ley de la selva.* pre051: *Caracteres adquiridos.*

Criterio E. pre45, pre050 y pre057 no contestaron.

La pregunta 13 ¿A qué crees que se deba que en Europa abunden las personas con ojos de color claro (azul o verde) y en México abunden las personas con ojos de color oscuro (café)? ¿Tendrá alguna ventaja o desventaja? sólo se hizo en la post prueba (Figura 13). La mayoría de los alumnos (54.5%) contestó con ideas alejadas de la concepción científica (criterio de clasificación D) y sólo 6.1% de los alumnos mostró tener los suficientes conocimientos para poder contestar a esta pregunta con el criterio A. Un 34.9% de los alumnos contestaron con ideas confusas (criterio B y C).

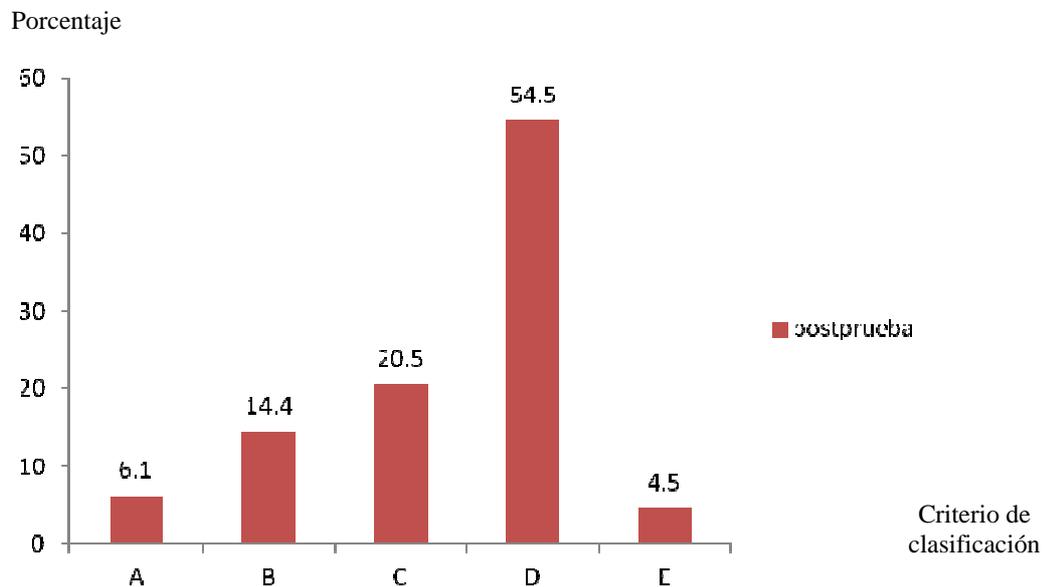


Figura 13. Respuestas a la pregunta ¿A qué crees que se deba que en Europa abunden las personas con ojos de color claro (azul, verde) y en México abunden las personas con ojos de color oscuro (café)? ¿Tendrá alguna ventaja o desventaja?

Ejemplos de las respuestas generadas por los alumnos son las descritas a continuación:

Criterio A. post045: *Pienso que no es desventaja y mucho menos ventaja, simplemente, el gen o su variación que de un tono claro a los ojos se encuentra más presente allá.* post016: *Pues porque los primeros habitantes de cada país tenían este tipo de color... con el paso del tiempo ese color se fue heredando entre la población.*

Criterio B. post042: *La diferencia de colores se debe a las combinaciones genéticas que existen en distintos lugares geográficos.* post039: *No creo que exista alguna ventaja o desventaja, los ojos azules y cafés tienen que ver con el tipo de origen étnico.*

Criterio C. post024: *Ventaja, ya que entre más oscuro el ojo, mejor vista tendrá, y la derivación de nuestros ancestros es el responsable de las ubicaciones.* post028: *A su ubicación geográfica, su clima y también a las personas que migraban a esos lugares, pero pienso que no trae ventajas ni desventajas.* post008: *Pues a que hay diferentes características de nuestros antepasados y que son diferentes orígenes los que conquistaron cada lugar.*

Criterio D. post101: *Es que de acuerdo al lugar donde vivas se debe tener ciertas características para poder combatir el clima y el medio ambiente.* post032: *Porque en Europa no hay en el año muchos días soleados, y si nosotros en México tuviéramos los ojos claros podríamos dañarnos con los rayos UV.*

Criterio E. post035 y post013: no contestaron.

En el Cuadro 1 se presentan los acumulados de los porcentajes obtenidos en la pre prueba y en la post prueba.

Cuadro 1. Porcentajes acumulados de los resultados obtenidos para cada uno de los criterios de evaluación de todas las respuestas generadas por los alumnos (pre prueba y post prueba) en relación con el tema que involucraba la pregunta.

Tema (pregunta)	Criterios de clasificación (porcentaje) obtenidos (pre prueba/ post prueba)				
	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	E (%)
Variabilidad (1)	10.3/16.7	29.7/27.3	38.6/39.4	21.4/16.7	0/0
Selección natural (2)	5.5/7.6	12.4/10.6	20.7/9.8	57.9/65.9	3.4/6.1
Especiación (3)	1.4/9.8	13.1/17.4	45.5/31.8	39.3/38.6	0.7/2.3
Biodiversidad (4)	4.1/14.4	15.2/28.8	73.1/45.5	6.2/10.6	1.4/0.8
Climas y Geografía (5)	2.8/6.8	11.7/15.2	51/55.3	29.7/15.9	4.8/6.8
Extinciones (6 y 7)	22.1/25.8	46.9/40.2	27.6/26.5	3.4/7.6	0/0
Herencia (8)	44.8/43.9	17.9/17.4	15.2/15.2	21.4/20.5	0.7/3
Especie (9)	6.9/9.8	31.7/39.4	43.4/30.3	14.5/15.9	3.4/4.5
Mutación (10)	2.8/9.1	24.1/27.3	49.7/43.9	16.6/18.2	6.9/1.5
Biogeografía (11)	4.8/25.8	26/31.1	48/21.2	17/17.4	4/4.5
Selección natural (12)	49.7/81.8	6.2/6.8	26.2/2.3	8.3/4.5	9.7/4.5
Deriva génica (13)	6.1	14.4	20.5	54.5	4.5

Con los resultados de la pre y post prueba se realizó un análisis estadístico de correlación múltiple entre las distintas variables socioeconómicas (edad, género, personas que contribuyen al gasto familiar, integrantes del núcleo familiar, entre otras) y el grado de apropiación y aplicación de los conocimientos biológicos necesarios para explicar el origen de la biodiversidad a través del proceso evolutivo. Para ello, se llevó a cabo la transformación de las respuestas a números, es decir, como los criterios (A, B, C, D, y E) fueron establecidos en orden creciente al dominio, articulación y aplicación de los contenidos, se tradujeron a números en este mismo orden: para el criterio E, que aplicaba a preguntas en las que los alumnos no contestaron, se otorgó el número 0, indicando nulidad de la respuesta; para el criterio D, que aplicaba a ideas sumamente alejadas de la concepción científica, se otorgó el número 1; para el criterio C, respuestas en las que los alumnos asociaban de manera adecuada los conceptos útiles -desde el punto de vista científico- para explicar determinado hecho observado en la naturaleza, pero que malinterpretaban el significado del concepto, se utilizó el número 2. Para preguntas en las que los alumnos respondían o utilizaban de manera adecuada los conceptos útiles desde la perspectiva científica, para explicar el problema que se les planteaba pero que presentaban falta de integración de los conceptos, se otorgó el número 3, y para las respuestas de los alumnos en las que aplicaban adecuadamente los conceptos, se utilizó el número 4.

Una vez que se transformaron numéricamente los criterios de clasificación, se procedió a obtener una calificación para cada alumno sumando el número obtenido en cada pregunta (13 preguntas totales), para así realizar un análisis de correlación entre dicha calificación y las variables socioeconómicas y determinar si alguna de estas variables influía de manera directa en el aprovechamiento académico de los alumnos y en especial en la comprensión de los procesos evolutivos.

El análisis de correlación múltiple entre las distintas variables socioeconómicas demostró que sólo la situación académica analizada a través del número de materias reprobadas explica de manera estadística la tendencia observada a través del análisis de las respuestas y su categorización. A medida que los alumnos adeudaban más materias respondían de peor manera en el cuestionario según se muestra en la Figura 14.

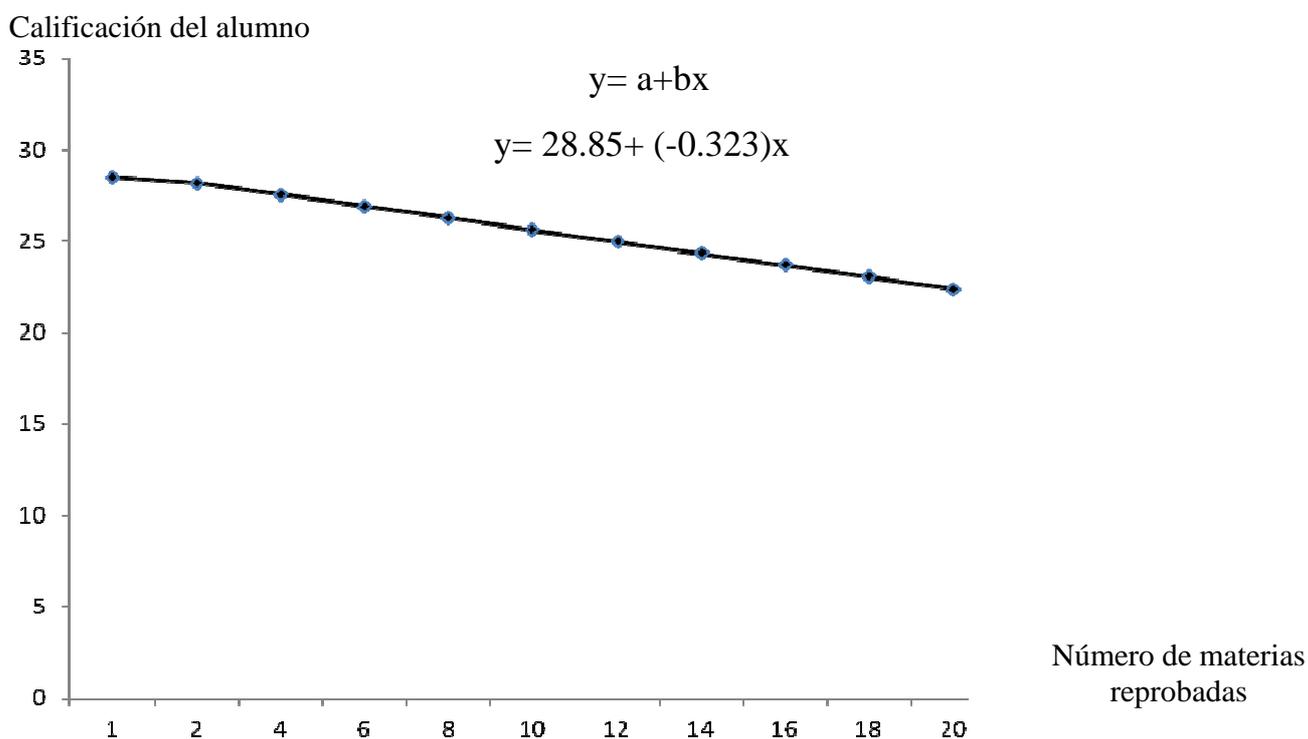


Figura 14. Correlación entre las variables número de materias reprobadas y la calificación de los alumnos.

El modelo obtenido mediante el análisis, en el programa SPSS, del estudio de correlación fue lineal:

$$Y = a + bx$$

Donde:

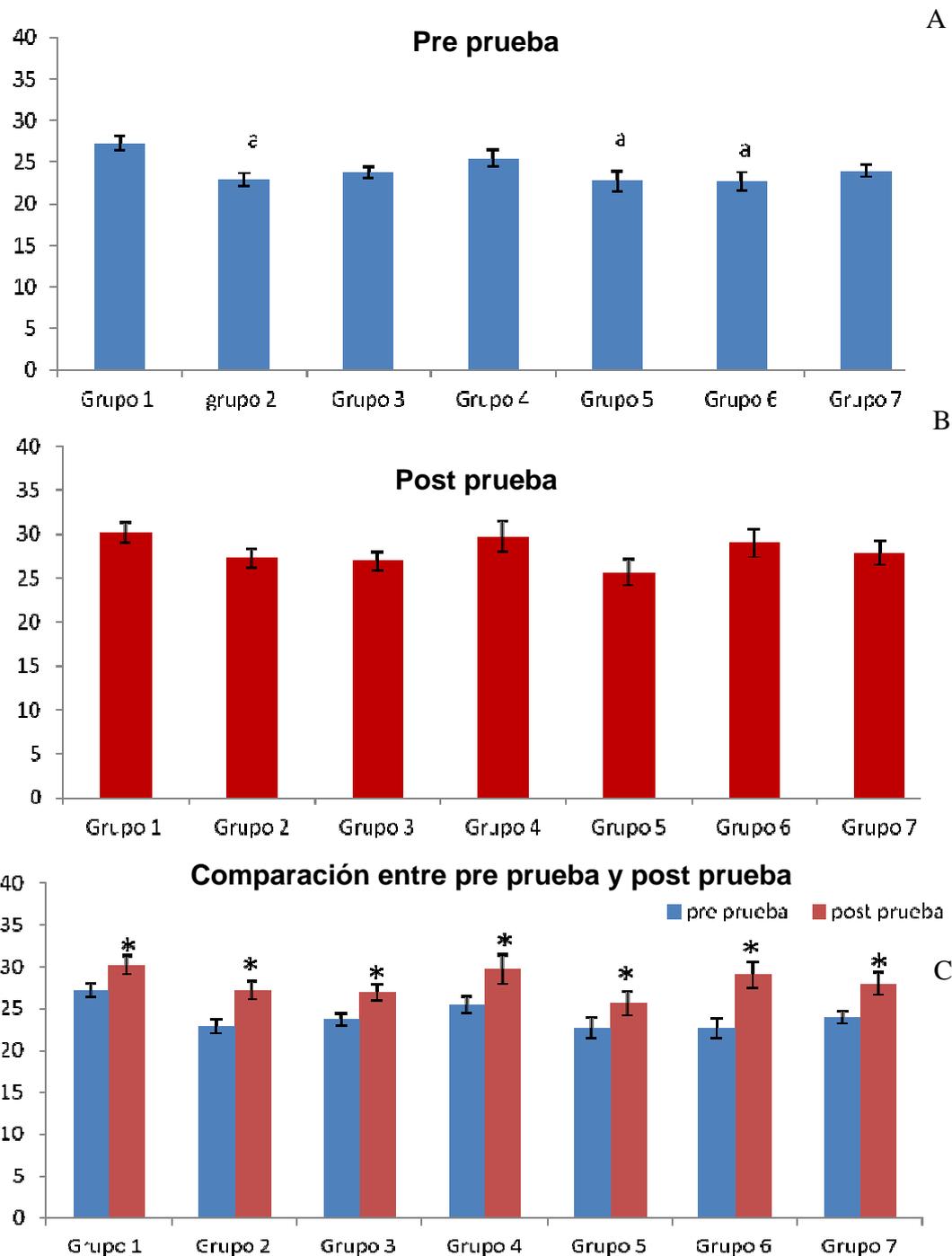
y = variable independiente (calificación del alumno)

a = 28.85, que es la intersección con el eje de las ordenadas

b = -0.323, que es la pendiente

Para determinar si había diferencia en el grado de conocimiento y apropiación de los contenidos relacionados con la evolución biológica al inicio del semestre se hizo un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía, seguida de una prueba de Tukey, Se consideró que el año anterior los alumnos habían cursado de manera obligatoria la materia de Biología II, en la que se revisaron las distintas teorías que a través del tiempo han tratado de explicar la evolución de los organismos, Se encontró que sólo el grupo 1 tuvo un dominio previo significativamente mayor de los contenidos abordados, en comparación con los grupos 2, 5 y 6 con una $P < 0.05$ (Figura 15-A) El ANOVA para los resultados de la post prueba no mostró diferencia alguna *entre* los grupos (Figura 15-B).

Las mismas respuestas fueron analizadas con la prueba “*t* de Student para conocer si se podría demostrar un avance en la apropiación de los contenidos y conceptos relacionados con el proceso evolutivo por parte de los alumnos y en todos los casos hubo diferencias significativas con una $P < 0.05$ (Figura 15-C).



a, $p < 0.05$ vs grupo 1 (ANOVA seguida de la prueba de Tukey)

*, $p < 0.05$ vs pre prueba *t* de Student

Figura 15. Calificación (media \pm d.e.m) de los alumnos de los distintos grupos obtenida en la pre prueba y post prueba, así como la comparación entre ambas.

Discusión

Los alumnos que participaron en nuestro estudio eran alumnos de sexto semestre, que escogieron Biología IV como materia a cursar. Se asume que la mayoría de ellos aprobaron la materia de Biología II, y se supo que al menos 57.6% no adeudaban ninguna materia. También se asumía que la mayoría dominaba los contenidos relacionados con las diferentes teorías evolutivas, tales como:

- Teoría de Lamarck
- Teoría de Darwin (de la Selección Natural)
- Teoría sintética de la evolución
- Equilibrios intermitentes (equilibrios puntuados)

Éstos son los contenidos fundamentales de la materia de Biología II y –en teoría– debió haberse cumplido con el propósito educativo de dicha asignatura, que es: “Al finalizar la Unidad, el alumno identificará los mecanismos que han favorecido la diversificación de los sistemas vivos, a través del análisis de las teorías que explican su origen y evolución, para que comprenda que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo”. Sin embargo, al inicio del semestre sólo 14.1% lo hicieron de manera adecuada a la concepción científica. El 40% de los alumnos mostraron un aprendizaje memorístico y 20.2% mostró tener ideas alejadas de la concepción científica, es decir, presentaban errores conceptuales derivados de sus ideas alternativas.

Al final del semestre, 21.5% de los alumnos manejaban los contenidos necesarios para explicar el origen de la biodiversidad a través de los procesos evolutivos, lo que implica una mejoría de 7.4% respecto al inicio del semestre. El 28.6% de los alumnos mostraron un aprendizaje memorístico (11.4% menos respecto al inicio del semestre) y 23.3% mostró mantener ideas alejadas de la concepción científica. En la revisión de los resultados de la pre prueba y la post prueba, observamos que al parecer no hubo un cambio conceptual en los alumnos debido a la similitud en

el tipo de respuestas generadas, en donde la mayoría de éstas corresponden al criterio de clasificación C, el cual se relaciona con aprendizaje memorístico. Dicha situación implicaría múltiples causalidades, no detectadas en este trabajo, pero algunas de ellas podrían ser similares a las descritas en diversos trabajos previos de campo como los de Guillén (1995), Campos (1999), Paz (1999), Martínez, (2005), Cortés (2006), Guadarrama (2010). Estos autores señalan que la didáctica del maestro con respecto a los diversos temas relacionados con la evolución biológica de los organismos es un tanto deficiente, y que esto se debe básicamente a dos aspectos: (i) el desconocimiento del tema por parte del maestro y de las sutilezas que separan a la evolución de la transformación y, sobre todo, del desarrollo de los seres vivos; (ii) a problemas de planeación y, en especial, de diagnóstico del saber de los alumnos por parte del maestro, lo que permitiría un trabajo orientado al cambio conceptual. Grau y De Manuel (2002) señalan otro problema, el vinculado con la prevalencia de concepciones erróneas en los alumnos, algunas generadas por el uso de reglas simplificadoras para identificar y entender las causas de procesos que son complejos, lo cual según estos autores constituye uno de los principales caminos que conducen a las concepciones espontáneas. Para ellos la dificultad de comprender determinados conceptos científicos se resuelve con la aplicación del sentido común, lo cual conlleva la incorporación de significados equívocos que conforman una visión pobre de los procesos biológicos y de la evolución.

Carrascosa-Alís (2005) ha propuesto que la dificultad de aprender los conceptos científicos de manera adecuada se debe, entre otras cosas, a que la enseñanza de conceptos teóricos preocupó al profesorado de ciencias bastante menos que otros aspectos como la resolución de problemas o la realización de prácticas de laboratorio. Esta situación inicial, desde el punto de vista de Carrascosa, era debida, en parte, a que los fallos en la resolución de problemas (con su alto índice de fracasos) o las carencias y limitaciones de unas prácticas de laboratorio resultaban más preocupantes que las posibles dificultades en la comprensión de

los conceptos, como muestra se da el hecho de que la mayoría de los estudiantes era en la parte teórica de los exámenes donde mejores puntuaciones obtenían.

No obstante, comenta Carrascosa-Alís (2005) se pensaba que la aparente facilidad para responder a cuestiones teóricas era más bien el producto de una simple repetición memorística y no de una apropiación adecuada de los conocimientos. Este autor pregunta: *¿Podía hablarse de comprensión realmente aceptable de ciertos conceptos científicos básicos cuando esos alumnos no eran capaces de aplicarlos adecuadamente para resolver problemas sencillos?* De hecho fue lo que observamos en las preguntas 2 y 12, en las que se interrogó a los alumnos sobre la aplicación del concepto de selección natural y sobre el concepto mismo respectivamente: 81.8% de los alumnos en la pos prueba contestaron adecuadamente cuando sólo se les preguntó el significado del concepto (pregunta 12), pero cuando se les pidió que aplicaran dicho conocimiento a la resolución de un problema observado en la naturaleza (pregunta 2) sólo 7.6% contestó con una visión adecuada a la ciencia. Esto evidenció que la mayor parte de los alumnos respondió recurriendo a errores conceptuales provenientes de ideas alternativas, ya que muchas de las veces los alumnos terminaron refiriéndose a que “el ambiente selecciona en cada momento el grupo de características favorables” o a la “supervivencia del más apto”.

De acuerdo con Carrascosa-Alís (2005), en alumnos e incluso en profesores de ciencias en formación, se comprueba la existencia de numerosos errores conceptuales. Dichos errores tienen algunas características comunes (p. 186):

- a) *Se repiten insistentemente a lo largo de los distintos niveles educativos, sobreviviendo a la enseñanza de conocimientos que los contradicen.*
- b) *Se hallan asociados con frecuencia a una determinada interpretación sobre un concepto científico dado (fotosíntesis, gravedad, fuerza, intensidad de corriente, metal, etc.), diferente a la aceptada por la comunidad científica.*
- c) *Se trata de respuestas que se suelen dar rápidamente y sin dudar, con el convencimiento de que están bien.*

d) Las cometen un gran número de alumnos de distintos lugares (países, estratos sociales) e incluso algunos profesores.

“A este tipo de respuestas, contradictorias con los conocimientos científicos vigentes y ampliamente extendidas, que suelen darse de manera rápida y segura, se repiten con insistencia y se hallan relacionadas con determinadas interpretaciones de diversos conceptos científicos, se les denomina errores conceptuales, y a las ideas que llevan a cometerlos, concepciones alternativas (porque realmente responden a la existencia de ideas muy diferentes a las ideas científicas que queremos enseñar). En función de ellas es que se contesta, por lo que constituyen un serio obstáculo para el aprendizaje de las ciencias.”

Al analizar tópico por tópico abordado en este trabajo (Cuadro 1), se detectan conceptos en los que los alumnos contestan de manera muy deficiente, con ideas sumamente alejadas de la visión científica. Tal es el caso de la aplicación de la comprensión del proceso de especiación (pregunta 3), la deriva génica (pregunta 13) en contraparte con los conceptos en los que la visión de los alumnos se apega de manera adecuada a la de la ciencia, como fue el caso de las causas de extinción de las especies (preguntas 6 y 7) o la transmisión de la herencia en organismos superiores (pregunta 8), entre otros.

Con respecto al abordaje del origen de la variabilidad al interior de las especies (pregunta 1), una buena parte de los alumnos (78.6%) reconocen, identifican o por lo menos han memorizado los procesos que incrementan la variabilidad genética, ya que mencionan que los procesos de mutación o recombinación genética son los que han provocado que encontremos distintas variedades de perros, esto aunado a la selección artificial que ha realizado el hombre a través del tiempo (criterios A, B y C). La mayor parte de las respuestas de los alumnos se identificaron como criterio C, tanto en la pre prueba (38.6%) como en la post prueba (39.4%), lo que indica que la mayoría recurrió a experiencias cotidianas de sentido común para explicar dicho suceso, aludiendo únicamente a la reproducción o a la “mezcla” entre los individuos.

Nuestros resultados revelan que en determinadas preguntas los alumnos utilizaron adecuadamente los conceptos evaluados. Sin embargo, la estrategia utilizada no reveló si tienen pleno conocimiento y profundidad en el dominio de los mismos, ya que varios estudios, como los de Gené (1991), muestran que la inadecuada comprensión de conceptos propios de la genética como gen, alelo o mutación son ocupados por los alumnos sin que establezcan su significado correcto, lo que obstaculiza la adecuada comprensión de los procesos genéticos, y se extrapola con el impreciso entendimiento del proceso evolutivo. Esto recuerda la frase de Theodosius Dobzhansky: "*Nada en biología tiene sentido, si no es a la luz de la evolución*", y de Francisco Ayala: "*Nada en evolución tiene sentido, si no es bajo el prisma de la genética*".

Banet y Ayuso (1995) muestran que los aprendizajes de los estudiantes sobre la herencia biológica son menos significativos de lo que cabría esperar, así, mencionan y atribuyen significados erróneos a conceptos básicos como cromosomas, genes, alelos, mutaciones, e incomprensión de procesos como la meiosis y la mitosis; en tanto que mencionan que al parecer los alumnos no entienden el papel del azar e interpretan de manera equivocada la dominancia y la recesividad, y que incluso sitúan los dos alelos para un carácter en el mismo cromosoma y no en los homólogos.

Al abordar el problema relacionado con la menor efectividad de un antibiótico sobre una población de bacterias (*Escherichia coli*) a través del tiempo (pregunta 2), observamos que la mayoría de los alumnos contestó de manera muy deficiente (criterio D) ya que atribuyen este hecho a la adaptación por parte de las bacterias al medio o al *acostumbrarse* al antibiótico o a *hacerse inmunes por decisión*. De acuerdo con Serrano (1987), este tipo de ideas manifiesta que los alumnos poseen una concepción lamarckista del proceso evolutivo, y extrapolan los cambios que se dan en el periodo de vida de un individuo a cambios en las poblaciones a través del tiempo. En este sentido los alumnos tienen una mala interpretación del proceso de adaptación; sobre este hecho, Milner (1995) muestra

que la adaptación es uno de los conceptos relacionados con la evolución que provocan mayor confusión y perplejidad en ciencias naturales, indicando que de un primer momento en el que la adaptación parece un concepto sencillo y de sentido común, acaba convirtiéndose en una idea resbaladiza y a veces incluso circular y paradójica. Una muestra es que numerosas investigaciones han evidenciado que los alumnos la consideran como un proceso individual en el que los organismos experimentan de forma consciente y voluntaria cambios físicos en respuesta a nuevas necesidades originadas por cambios en el ambiente. Nuestros resultados indican que la mayoría de los alumnos aluden al concepto de adaptación lamarckista (57.9% y 65.9% en la pre y post prueba, respectivamente), lo que implica que una buena parte de ellos presentan conceptos erróneos con relación a este tema.

Este mismo comportamiento fue reportado por Rangel (2007), quien en un estudio de campo encontró que 68% de alumnos del tercer semestre del CCH Naucalpan presentaban ideas relacionadas con la intencionalidad, en donde frecuentemente los alumnos contestaban a las preguntas ¿Cómo explicas que los insecticidas hace años les hicieran efecto a los piojos y ahora no? y ¿Cómo explicas que los insecticidas cambien su efecto con el tiempo? con que los piojos se vuelven inmunes porque se acostumbran o porque se van haciendo resistentes al insecticida. En el caso de este tipo de respuestas, encontramos que los alumnos utilizaron razonamientos poco cercanos a la visión científica dado que para el alumno hay una intención del organismo que va mucho más allá de su propia existencia hasta que alcanza un objetivo,

Castañeda (2008) realizó un trabajo similar sobre el tópico relacionado con la selección natural, sólo que la pregunta hecha a los alumnos que participaron en su investigación no incluía la aplicación del contenido abordado, dado que se les presentaba a manera de opción múltiple; de acuerdo con sus resultados, 90% de los alumnos tenía “buena comprensión” de este contenido, lo que concuerda con nuestros resultados a la pregunta ¿Cuál es el proceso mediante el cual el medio

ambiente elimina a los organismos con características menos favorables? descrito arriba.

En el tema relacionado con la comprensión del papel de las mutaciones en el proceso evolutivo (pregunta 10), encontramos que la mayor parte de los alumnos contestan: 1) Comprendiendo o asociando las mutaciones sólo como agentes que causan enfermedades y tienen un papel deletéreo en las poblaciones, y por lo tanto los individuos que las presentan son eliminados por la selección natural. Esto explica el hecho de que gran parte de los alumnos mencionen frecuentemente que las mutaciones generan desventajas desde el punto de vista evolutivo; 2) Que las mutaciones pueden tener un papel dual, debido a que ocurren en las poblaciones y pueden ser imperceptibles a la vista del humano o provocar grandes manifestaciones fenotípicas. Por lo anterior, los alumnos no relacionaron las mutaciones con una fuente de variabilidad al interior de las especies. Tal y como se deduce a partir del análisis de la pregunta 1; alrededor de 40% de ellos consideró a las mutaciones, por lo menos de manera memorística, como una fuente de variabilidad. Sin embargo, cuando se les preguntó ¿Qué efectos tienen las mutaciones en los individuos y en las poblaciones?, pocos alumnos manifestaron el conocimiento pleno del papel que juegan éstas en el proceso evolutivo de las especies.

Estos resultados concuerdan con los trabajos de Albaladejo y Lucas (1988), Cho y cols., (1985) y Jensen y Finley (1995), quienes han reportado que alumnos de preparatoria frecuentemente relacionan o entienden como mutaciones a cualquier cambio que tiene un organismo, sin que necesariamente se atribuya a éste modificaciones en el material hereditario, o bien, que las mutaciones son dañinas e incluso que se producen con la finalidad de permitir la supervivencia de los individuos a cambios en el ambiente.

Con respecto a las preguntas 4 y 5, en las que se abordan temas relacionados con las características fisiográficas y ecológicas de México, que han permitido el

establecimiento de la gran diversidad de especies, provocando que sea considerado un país megadiverso, encontramos que en general los alumnos manifiestan saber que parte de la gran biodiversidad presente en nuestro país se favorece por la conjunción de varios factores, entre los que sobresalen: la alta intensidad y frecuencia de cambios climáticos y fisiográficos, a través del tiempo geológico, alta diversidad fisiográfica, geológica, edáfica de la región, alta intensidad de evolución, aislamiento ecológico efectivo, así como la larga permanencia de la región en calidad de tierra emergida y no sujeta a condiciones ambientales catastróficas, siendo también hacen evidente su importancia como centro de evolución de linajes, tal como señalan Rzendowski (1990) y Toledo (1988).

Con respecto al tópico relacionado con la extinción de las especies, así como sus causas y consecuencias (preguntas 6 y 7), también encontramos un buen dominio de este contenido, ya que la mayoría de los alumnos contestó con ideas apegadas a las científicas; es probable que esto se deba al fuerte impacto que en los últimos años ha tenido la difusión de este contenido en los medios de comunicación masiva, al igual que en el espacio académico y social de los alumnos. Cabe señalar que la Cumbre de Johannesburgo (agosto-septiembre, 2002) fue uno de los eventos relacionados con la biodiversidad que mayor difusión y cobertura ha tenido en épocas recientes. En esta Cumbre se hizo especial hincapié en que uno de los cinco graves problemas que condicionan el futuro de la humanidad es el de la pérdida de la biodiversidad, producto de la elevada tasa de extinción de las especies en tiempo reciente. Aunado a este hecho, frecuentemente escuchamos en radio, televisión y cine, que cientos de especies se están perdiendo (extinguiéndose) a un ritmo acelerado debido a la interferencia humana en los ambientes naturales y al excesivo crecimiento de la población humana. De esta manera, hay muchos grupos humanos “preocupados” por los crecientes problemas ambientales como son la contaminación (suelo, agua y atmosférica), el efecto invernadero aunado al crecimiento del agujero de la capa de ozono y el

empobrecimiento de la biodiversidad. En este sentido, Álvarez (1993) nos menciona:

“Uno de los costos biológicos más fuertes provocados por el desarrollo, es la disminución de la biodiversidad. La transformación de un ecosistema implica un desequilibrio en los ciclos hidrológicos, energéticos, erosión, contaminación y otras consecuencias de carácter ecológico estricto; todo esto ha ocasionado una disminución de la variabilidad biológica del país. Esto, biológicamente hablando, significa la desaparición irreversible de genotipos que son el resultado de un proceso evolutivo desarrollado durante millones de años, e implica una reducción sensible en las probabilidades de utilización de los recursos, valores y servicios que aporta la biodiversidad”.

Este problema avanza a una velocidad tal que permite calificarlo como una crisis planetaria de consecuencias impredecibles (Crisci, 2006).

Una gran cantidad de alumnos concuerda con lo establecido por Crisci (2006) y Sequeiros (2002) respecto de las causas de esta pérdida de biodiversidad, atribuyendo esta situación a la merma o fragmentación del hábitat de numerosas especies, a la alta tasa de deforestación, a la sobreexplotación de los recursos, a la invasión de especies introducidas y a la caza furtiva, entre otras.

Sin embargo, la biología moderna concibe que la extinción de las especies es y ha sido un elemento determinante en la dinámica de los ecosistemas. Esto hace que los procesos de extinción sean, entre otras cosas, facilitadores de la evolución biológica, lo cual convierte este tema en uno de los más polémicos del pensamiento común y genera en ocasiones desequilibrios en la comprensión total de este proceso. Un ejemplo de ello es cuando se explica a los alumnos del bachillerato que la extinción actual de las especies es resultado de diferentes problemas ambientales y sociales, pero en otro contexto les explicamos que las extinciones jugaron un papel importante en la historia evolutiva y diversificación de determinados grupos tales como los mamíferos, tras la de los dinosaurios. Esto provoca que autores como Roldao y cols. (2001), mencionen que en la educación

escolar el tema relacionado con el papel de las extinciones se aborde desde un plano reduccionista de la realidad, ya que cuando no se consideran todas las implicaciones de éstas, tanto a corto como a mediano y largo plazo, se corta la comprensión cabal del proceso evolutivo. En palabras de Raup y Sepkoski, (1984): por regla general las especies se caracterizan por tres acontecimientos que definen su existencia: el origen, el tiempo de duración y su extinción.

En la pregunta 8 abordamos un estudio de caso que frecuentemente se utiliza para evaluar ideas apegadas al modelo adaptacionista. Al respecto, cerca de la mitad de los alumnos tanto en la pre prueba (44.8%) como en la post prueba (43.9%) contestaron con ideas cercanas a la visión científica, mientras que alrededor de 20%, en ambas pruebas, lo atribuyeron a ideas adaptacionistas alejadas de la visión científica, ya que mencionaban que al cabo de 20 generaciones los ratones nacerían sin cola porque se adaptarían a vivir sin ella o se acostumbrarían a no tenerla o se les atrofiaría el músculo de la cola.

Al realizar una comparación entre las respuestas generadas en la pregunta relacionada con las bacterias y las causas de la resistencia a los antibióticos y el ejemplo de los ratones a los que se les corta la cola, hubo mayor cantidad de alumnos que utilizó el esquema científico para explicar, en el ejemplo de los ratones, el hecho de que los caracteres adquiridos por los individuos a nivel somático no son transmitidos a la descendencia. Esto quizá se deba a que al ser un vertebrado y al exponerse una situación común (mutilación) la experiencia de los alumnos les brindaría la oportunidad de contestar de manera adecuada. Solomón (citado por Jiménez-Aleixandre y Fernández, 1989) menciona que este hecho pudiera ser explicado por el contexto, científico (bacterias en un cultivo de laboratorio) y el cotidiano (ratones), ya que los contextos que recuerdan situaciones familiares pueden ser abordados mediante la utilización de un esquema conceptual y los relacionados estrictamente con la ciencia responden a otro esquema muy diferente, lo que lleva a los estudiantes a utilizar unas veces el esquema adecuado y otras el alternativo, sin entender que se están utilizando dos

esquemas distintos (lamarckismo o darwinismo) y que ambos son antagonicos y, por lo tanto, no pueden servir para explicar hechos similares observados en la naturaleza.

Con respecto al t6pico relacionado con el entendimiento del concepto biol6gico de especie (pregunta 9) y del proceso de especiaci6n (pregunta 3), encontramos que la mayoria de los alumnos asocian de manera inadecuada los conceptos debido a que presentan deficiencias en el manejo de los mismos, por lo que la mayoria contest6 de acuerdo a los criterios de clasificaci6n B y C para el caso del concepto biol6gico de especie, y del C y D, para el caso del proceso de especiaci6n.

Los estudiantes no lograron diferenciar entre una raza y una especie, incluso para algunos resulta lo mismo, permaneciendo el concepto tipol6gico. Mientras que parte de los alumnos asocia la generaci6n de nuevas especies a trav6s del proceso de especiaci6n sin describir adecuadamente las particularidades de este proceso.

Un problema observado en el entendimiento del concepto de especie, que dificulta la compresi6n del proceso de especiaci6n, es que en la mayoria de los alumnos se presenta el pensamiento tipol6gico. Para varios autores como Jim6nez-Tejada (2009), el esencialismo presente en las ideas de los alumnos representa un serio obst6culo para comprender adecuadamente la evoluci6n por selecci6n natural, lo cual s6lo ocurre tras un cambio hacia el pensamiento poblacional. Por lo que desde su punto de vista, el pensamiento poblacional es necesario si queremos transmitir a los alumnos que la selecci6n natural no produce cambios en el individuo, sino en las poblaciones, dentro de las cuales existe la variabilidad imprescindible para que act6e la selecci6n natural.

Jim6nez-Tejada (2009) tambi6n nos advierte sobre la importancia de entender adecuadamente el concepto biol6gico de especie y de pensamiento poblacional, ya que desde su experiencia la teor6a de la evoluci6n y los conceptos antes

mencionados están muy ligados, por lo que para la enseñanza y aprendizaje de la primera hacen falta los segundos, siendo conveniente el conocimiento de las dificultades que muestra el alumnado en todas ellas y las razones que subyacen a su pensamiento para el adecuado diseño de estrategias educativas adecuadas.

En relación con los conceptos implícitos en la pregunta 11 sobre aspectos biogeográficos, encontramos que trabajos como los de Sequeiros y cols. (1995), muestran que el entendimiento de la teoría de la tectónica de placas y su relación con la evolución biológica no es solamente un paradigma emergente de difícil construcción, sino que el adecuado entendimiento de estos dos procesos puede llevar a una mejor aprehensión y esclarecimiento de la biología. De hecho, este autor considera que la relación tectónica de placas-evolución biológica se ha convertido en un principio iluminador del quehacer científico. La interpretación del registro fósil antes y después de la tectónica de placas ha estado sometida en este sentido a una auténtica revolución científica kuhniana. El conocimiento de la deriva continental a través de la tectónica de placas muestra que el mundo no es estático, que la Tierra tiene historia y que el tiempo tiene dirección, puesto que un momento puede distinguirse de otro porque ocurren fenómenos diferentes. En este tópico, los alumnos del Colegio mostraron un buen reconocimiento del hecho de que la Tierra cambia, prueba de esto es que en la pos prueba alrededor de 57% de los alumnos reconocieron y aplicaron dichos conceptos para explicar la semejanza del registro fósil de animales terrestres del Terciario de continentes actualmente tan separados como América del Sur y África. De este modo, la instrucción ejercida por los profesores durante el semestre logró aumentar en 21% el número de respuestas correspondientes al criterio A, es decir, el dominio y aplicación de los conceptos se incrementó, ya que dicho porcentaje de alumnos entendió que cuando una masa de tierra se rompe y separa el resultado es el aislamiento genético y que, por el contrario, las fusiones continentales dan lugar a la homogenización de las áreas, migraciones en ambos sentidos y aumento de la competencia por el espacio y los recursos, es decir, que el cambio de posición de los continentes puede dar lugar a procesos evolutivos muy diferentes.

Con respecto a la pregunta 13, observamos que la mayoría de los alumnos contesta con ideas alejadas de la concepción científica, que pocos alumnos son capaces de abordar la problemática y darle una respuesta con ideas científicas; esto quizá se deba a que el manejo de poblaciones es un aspecto muy abstracto y difícil para los estudiantes, tal como lo señalan Rendón y cols. (2009), quienes realizaron una investigación en alumnos del primer año de universidad en torno a los problemas epistemológicos en el aprendizaje de la genética y la evolución de las poblaciones, desde la perspectiva de la teoría sintética, encontrando que los alumnos suelen explicar los procesos de cuello de botella por mecanismos adaptativos, lo cual es incorrecto. En su estudio muy pocos alumnos fueron capaces de explicar el proceso de deriva génica y sólo uno (de 40) sugirió en su explicación el papel del azar. Nuestro estudio revela situaciones similares a las descritas por el equipo de este autor, ya que la mayoría de los alumnos atribuyó un fenómeno observado en la naturaleza, que científicamente es explicado a través de la deriva génica, a ideas relacionadas con el proceso de adaptación.

En el trabajo de Rendón también se manifiesta una amplia dificultad en el manejo de conceptos relacionados con el equilibrio de Hardy-Weinberg, por parte de los alumnos, lo cual –a su parecer– puede explicar, al menos en parte, la dificultad del entendimiento de procesos como la deriva génica. Esto es algo que llama la atención dado que en el programa de estudios del CCH no se presenta de manera explícita este contenido, el cual es indispensable para el entendimiento adecuado de la genética de poblaciones.

Con relación al papel del profesor en el aprendizaje de los contenidos relacionados con la evolución biológica, estudios como los de Cortés (2006) muestran que muchas veces las formas en las que se imparten las clases propician la desmotivación entre los alumnos y que, por tanto, no se realiza una vinculación con las experiencias cotidianas de los estudiantes. Estudios como los de Flores-Camacho y cols. (2007) identifican que hay deficiencias en el

profesorado sobre el manejo de los contenidos científicos vertidos los programas de ciencias y las formas en las que deberían de transmitirse dichos conocimientos

Otra posibilidad es que estos alumnos hayan reafirmado concepciones erróneas en los niveles previos de la educación formal, dado que estudios como los de Flores-Camacho y cols. (2007) muestran que el conocimiento de los contenidos científicos de los programas de ciencias en el nivel de secundaria es pobre. Indicio de esto son los resultados de evaluaciones globales a alumnos, tales como PISA 2006 (OECD, 2006), PISA 2009 (OECD, 2009) y evaluaciones nacionales como las realizadas por el CENEVAL, año con año a alumnos que egresan del nivel básico (secundaria) e ingresan al nivel medio superior (Gago, 2000), en las que el área de ciencias naturales presenta resultados muy poco alentadores. El trabajo de Flores-Camacho y cols. (2007) mostró que los docentes del nivel secundaria presentan serias deficiencias en el manejo de temas como la biodiversidad, la clasificación, la evolución y las células; en genética presentaron un nivel muy básico, ya que tienen problemas en utilizar el cuadro de Punnett, para realizar cruces e interpretación de los resultados de éstas. Además, se evidenciaron serios problemas para diferenciar claramente conceptos como: gen, alelo, cromosomas y ADN, por lo que tampoco logran integrar estos conceptos en los procesos implicados en los mecanismos de la herencia. No todos los profesores explican los cambios en las poblaciones a través de las generaciones mediante las mutaciones, pues utilizan elementos de la teoría de Lamarck o ilustran sus clases con ejemplos (videos, cuentos, diapositivas) que son explicados de manera lamarquista.

En resumen, los resultados de Flores-Camacho y cols. (2007) exponen una situación grave de deficiencias en el conocimiento disciplinar de los profesores. Para determinar que esto pudo haber intervenido en algunos de los resultados de este trabajo, hubiera sido conveniente que los profesores hubieran aceptado ser entrevistados, sin embargo esto no fue posible.

Otra problemática en la enseñanza de la evolución implica las creencias de los profesores con respecto al tema evolutivo, puesto que estudios como los de Maldonado y Rivera (2008) muestran que una parte importante de los profesores no consideran importante el abordaje de estos temas o no conciben a la teoría de la evolución como una teoría unificadora de la Biología. Una investigación realizada en nuestro país destaca que estudiantes próximos a obtener la licenciatura en Educación Primaria muestran un pobre dominio del tema, que incluyen el uso de un lenguaje lamarckista y poseen un pensamiento teleológico como formas alternas a la explicación de la teoría evolutiva (Magaña, 2007).

Maldonado-Rivera (1998) encontró que 25% de los maestros participantes expresa que no enseñan evolución porque el tema entra en conflicto con sus propias creencias religiosas. El mismo estudio destaca que los docentes de Biología y Ciencias Terrestres con mayor compromiso religioso y creencias más arraigadas mostraban mayor inclinación a evitar la enseñanza del tema evolución que los menos comprometidos religiosamente. Asimismo, la investigación describe que de los participantes 14% estima que la evolución es un proceso natural que ocurre sin la intervención divina; 38% considera que la evolución no ocurrió y que Dios creó todo de una vez; 17% acepta el proceso evolutivo, pero defiende la creación especial del ser humano; y 21% describe la evolución como un proceso dirigido por Dios (Maldonado-Rivera, 1998). Esto a pesar de que la mayoría de las iglesias en el mundo aceptan actualmente la evolución como un proceso que intervino en la formación de las especies, incluyendo al *Homo sapiens*.

Rutledge y Mitchell (2002) refieren que diversas investigaciones atribuyen las posturas que asumen los docentes y la manera como manejan en el aula el tema de la evolución biológica al poco dominio conceptual que poseen de la temática. Estos autores no consideran las creencias religiosas como el elemento clave para explicar ambos aspectos. Ciertamente, la formación adecuada de los profesores de ciencia en la temática de la evolución es fundamental para mejorar el tratamiento del tema en el aula. No obstante, las investigaciones de Maldonado-

Rivera (1998) también revelan que la forma como los docentes (y los estudiantes) lo manejan se relaciona con sus creencias religiosas y concluye, por ejemplo, que el trasfondo académico y las creencias religiosas de los maestros son factores que pueden contribuir en la aceptación y la enseñanza de la evolución.

Con respecto a las características socioeconómicas y la situación escolar, llama la atención que ninguna de las variables se correlacionó de manera directa con el aprovechamiento de los alumnos o –mejor dicho– con la apropiación de los contenidos biológicos relacionados con la evolución biológica; esto contrasta con lo sugerido por autores como Garay (2001) o Fallas (1996), quienes han mostrado que determinadas características tales como la composición familiar (número de elementos y posición dentro de los hermanos), estado civil del alumno, que tengan hijos, presencia o ausencia de los progenitores y desintegración familiar, suficiencia y holgura económica, necesidad de trabajar, tiempo dedicado al trabajo y al estudio, combinación escuela–trabajo, entre otros son factores que se relacionan con el aprovechamiento académico de los alumnos

En este estudio, sólo el número de materias reprobadas se correlacionó con la mayor o menor apropiación de los contenidos biológicos, mientras que ninguna otra variable fue un factor que se relacionara con el rendimiento académico. Esto contrasta con investigaciones realizadas en México, por Tirado y López (1994), quienes encontraron que entre alumnos de la carrera de Biología las personas de nivel económico bajo tenían peores rendimientos y apropiación de conocimientos biológicos como la evolución biológica y los procesos asociados. Estos autores demostraron que este rendimiento se observa en alumnos de distintas escuelas, y concluyen que para esa muestra y en ese momento los alumnos tenían un escaso nivel de apropiación de conocimientos biológicos, dado que sólo contestaron 47.7% de las preguntas relacionadas con nociones fundamentales del área, que se habían dado como aprendidas en la secundaria y el bachillerato.

También es posible que el bajo rendimiento observado en la apropiación de los contenidos relacionados con la evolución biológica y su papel en el desarrollo de la biodiversidad pueda deberse a desinterés y actitudes negativas hacia la ciencia por parte de los alumnos o incluso por parte de los mismos docentes. Carrillo (1991) y Peña (2004) mencionan que México es un país que no invierte en la ciencia y la educación, y lo correlacionan con el interés por el aprendizaje y la enseñanza de sus contenidos. Estos autores explican que la actividad científica en México está, en términos generales, muy mal remunerada: escasean los empleos y es poco reconocida socialmente; este fenómeno se relaciona con el hecho de que el número de estudiantes que ingresaban cada año a las carreras de ciencias había disminuido y que carreras como Administración de Empresas, Contaduría o Ciencias de la Comunicación seguían aumentando su matrícula año con año. Otro fenómeno que ha contribuido a este desinterés por los aspectos relacionados con la ciencia se debe a que en nuestro país las empresas privadas aún se interesan poco en participar en proyectos científicos, además los países latinoamericanos destinan poco capital a este ramo, tanto en el aspecto educativo como en el de investigación. Este problema no es exclusivo de México, ya que en países como Uruguay, durante la época de la dictadura militar, la ciencia y la tecnología eran materias incipientes, debido a que su gobierno no consideraba que desarrollarlas sería un medio para mejorar el nivel de vida de sus ciudadanos (Torres, 1991).

Lo anterior aún puede considerarse vigente, ya que, según Acevedo (2007), hay una crisis de la enseñanza de las ciencias que alcanza aun a la mayoría de los países desarrollados y que es un grave problema educativo en los países subdesarrollados, en lo que puede considerarse un obstáculo para el crecimiento y desarrollo tanto económico como cultural y humano. Aunque esta crisis se deba en buena parte a problemas generales de la educación, también tiene sus propios rasgos específicos, consecuencia de una finalidad propedéutica enfocada principalmente hacia los hechos y conceptos científicos, que tiende a descuidar los aspectos emotivos y afectivos propios del ámbito científico según Banet (2007). Un efecto indeseable de esta crisis es el continuo descenso en el número de

estudiantes en los estudios universitarios de ciencia y en las profesiones relacionadas con la misma, tanto por la baja elección inicial como por el frecuente abandono de los mismos (Gago, 2004, citado por Acevedo, 2007). Las actitudes negativas hacia la ciencia y la tecnología, adquiridas a lo largo de toda la escolaridad, están en el origen de estas decisiones y tal vez deban considerarse una de las principales causas del problema, pues es posible que hayamos olvidado la transmisión de los sentimientos y las emociones en la enseñanza propedéutica de las ciencias. Así, muchos estudiantes están insatisfechos con lo que hacen en las aulas, sobre todo lo que con ella hacen los sistemas educativos, a partir de lo cual la consideran difícil, aburrida, impersonal, fuera de sus intereses e irrelevante para la sociedad, en conjunto (Acevedo y cols., 2005).

Lo anterior explica y concuerda con la imagen que se tiene del trabajo relacionado con las ciencias en México, y en especial la que tienen los adolescentes, ya que a menudo se escuchan comentarios en los que se refiere que lo relacionado con la ciencia no les va a servir en el futuro (OCDE, 2009), debido a que ellos quieren dedicarse en el ámbito profesional al diseño de modas, la rama automotriz, la abogacía o a la administración de empresas, entre otras carreras, por lo que se cae en una falacia, como lo describe García Márquez:

“La idea de que la ciencia sólo concierne a los científicos es tan anticientífica como es antipoético asumir que la poesía sólo concierne a los poetas”.

Ello refleja una gran desvinculación y desconocimiento de que la ciencia permite el avance de los pueblos y contribuye a la formación del ser humano (López y Sánchez, 2001). En este sentido una preocupación que se plasma en el texto de Núñez (2001) es la necesidad y obligación que tienen los gobiernos de crear condiciones adecuadas para que sus jóvenes sean educados en un ambiente científico y humano. De la misma manera, se hace referencia al hecho de que la ciencia ayuda a los países a surgir, ya que más ciencia genera más tecnología y la

tecnología genera riqueza y bienestar, lo que aminora la desigualdad entre los pueblos y las personas.

En nuestro país, las ideas anteriores están presentes en el panorama educativo desde los movimientos insurgentes y revolucionarios que gestaron al México independiente, y fueron retomados y enriquecidos hace pocos años cuando se creó el sistema educativo CCH (Gaceta UNAM, 1971) y se puso sobre la mesa de discusión la necesidad de educar en ciencias y humanidades para formar ciudadanos responsables con los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para enfrentar problemas individuales y sociales, y tomar decisiones en un mundo donde los productos de la ciencia y la tecnología son parte esencial de la vida cotidiana. Sin embargo, lo anterior no parece tener en México suficiente eco ni relevancia: año con año se presentan disminuciones en el presupuesto anual para el ramo educativo (Márquez, 2009; Reyes, 2009) y de investigación en todos sus niveles (Martínez y Licea, 2008; Poy, 2007^a).

Talanquer (2000) menciona otro aspecto relacionado con el papel docente, nos dice que hay fuerte resistencia al cambio en la implementación y desarrollo de las clases. En este sentido comenta:

“El conductismo en su manifestación tradicional del ‘yo hablo y tú me escuchas’ sigue siendo el amo y señor en nuestras aulas, pese a las modificaciones en los planes y programas de estudio de las instituciones educativas en los últimos años”.

Como ejemplo de ello podemos mencionar que ya desde la instauración del programa para la modernización educativa (1989-1994) se plantearon las transformaciones de los planes y programas. No obstante, se ha observado que se tiende a invertir grandes esfuerzos en la creación de planes de estudio, pero se destinan pocos recursos a la creación de las condiciones adecuadas para llevarlos cabalmente a cabo o son desperdiciados.

Talanquer (2000) invita a tomar un papel más activo en la formación y certificación de maestros a nivel bachillerato, con la finalidad de crear mejores condiciones para la labor educativa en los centros de nivel medio superior, dado que es muy frecuente encontrar que en este nivel la implementación de los planes y programas de estudio quede en manos de docentes con poca o nula formación didáctica, pues muchos de los maestros de bachillerato y secundaria en México son contratados para trabajar por horas, en la mayoría de los casos, y sólo se requiere que hayan completado una licenciatura en un área científica o tecnológica. Talanquer (2000) afirma que la mayoría de estos docentes se dedica a la docencia por necesidad y lo hacen guiados por la intuición y el sentido común, cargando además con la responsabilidad de la enseñanza de varios grupos, debido a que su bajo salario les impide dedicar tiempo a la reflexión de su labor docente, a más de no contar con el apoyo y los recursos adecuados por parte de las instituciones educativas a las que pertenecen. Agrega que no es suficiente con que sean unos pocos los que dirijan y planeen, para este autor se requiere la participación de todos, en donde –sin duda– el profesor juega un papel muy importante. Flores-Crespo (2009), por ejemplo, enmarca al docente como el principal agente promotor de la Reforma Integral de la Educación Media Superior (RIEMS) y como uno de los responsables de llevar a buen término las iniciativas planteadas para este nivel educativo.

Lo anterior ha tratado de ser compensado con iniciativas en las que se pretende se incremente la participación de los científicos en el diseño de los programas de estudio, en la elaboración de libros, en la divulgación de las ciencias, entre otras actividades (Poy, 2007^b; Torres, 1991). Sin embargo, muchas de las veces esto es contraproducente pues se suele cargar de contenidos especializados a los programas sin que se atienda adecuadamente el propósito educativo ni el estado cognoscitivo, social o anímico de los estudiantes, lo que en numerosas ocasiones vuelve engorrosas las materias y provoca que los temas se aborden muy superficialmente o no se completen los programas de estudio.

El problema de la educación en México es un fenómeno que depende de múltiples factores, siendo uno de los más importantes el del aspecto docente, ya que, en palabras de Cano-Santana (1995), este proceso depende fundamentalmente de: 1) los conocimientos del profesor y su habilidad para transmitirlo; 2) la habilidad de los profesores para lograr que los estudiantes conozcan sus aptitudes, corrijan sus deficiencias y superen sus prejuicios, y 3) la motivación que los estudiantes tengan para adquirir nuevos conocimientos y aprender nuevas formas de pensamiento. En ese tenor, un buen profesor debe poseer los conocimientos y la experiencia necesarios en la materia, así como un método didáctico capaz de mantener la motivación de los alumnos. Luego entonces, la enseñanza de la Biología debe ser un proceso informativo y, ante todo, formativo de las actitudes e intereses del estudiante, donde se busque que el mismo encuentre las respuestas valiéndose de sus propios medios.

Al respecto, Aznar e Ibáñez (2006) han mostrado que en la educación de las ciencias, y en genética, particularmente, se presentan mejores aprendizajes cuando los alumnos ven a la ciencia como algo cercano a ellos, algo que no sólo es para personas inteligentes y que pueden resolver estudios de caso o problemas de la vida cotidiana, lo cual, al final de cuentas, ayuda a mejorar la actitud que tienen hacia las ciencias. Esto quizá sea un problema nodal, pues las personas que construyen los planes y programas relacionados con la impartición de ciencias en el nivel medio superior pretenden que se abarque tanto que y por múltiples razones, como son: el tiempo dedicado a las materias científicas y la excesiva extensión de los programas de estudio que abarcan demasiados procesos y por ende conceptos por lo que los profesores terminan considerando muy poco.

Conclusiones

En este trabajo se planteó que el estudio de la evolución biológica es esencial para la comprensión del concepto biodiversidad, la gran diversidad de organismos que

nos rodean y que vivieron en el pasado, lo cual es de gran importancia para un país megadiverso como México. De aquí que dicho concepto sea nodal en la Biología, sea contemplado en los Programas de Estudio del Bachillerato Medio Superior y en particular en el de la Educación Media Superior del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.

Encontramos que:

1. La mayor parte de los alumnos pasaron de la descripción del concepto a su asociación e incrementaron su vocabulario científico, aunque no explicaron diversos fenómenos relacionados con la evolución biológica y el origen de la biodiversidad.
2. El 28.6% de los alumnos del CCH Oriente mantuvieron la asociación por memorización de los procesos relacionados con la evolución biológica y el origen de la biodiversidad.
3. Se comprobó el aprendizaje parcial de los contenidos del Programa, porque los resultados mostraron que la distribución normal de los criterios, detectada en el inicio del curso, se desplazó hacia las zonas de mejor apropiación de los contenidos (zonas A y B).
4. El análisis estadístico mostró que hubo diferencias significativas entre la pre prueba y la post prueba, aunque el porcentaje de respuestas en el criterio C no disminuyó como es deseable.
5. Los docentes del CCH, que permitieron nuestras evaluaciones en sus alumnos, cumplieron con el propósito de elevar en ellos, el grado de dominio y aplicación de los contenidos abordados en la primera unidad de la materia de Biología IV, prueba de ello fueron las calificaciones numéricas, ya que al iniciar el semestre el promedio era de 5.7 y al finalizarlo de 7.25.
6. Alrededor de 50% de los alumnos tiene una serie de concepciones erróneas sobre algunos aspectos de la evolución, que en el futuro le dificultarán o impedirán el adecuado entendimiento del proceso evolutivo.

7. Al inicio del semestre los conceptos que están implicados en la comprensión de que “la evolución es el proceso que da origen a la biodiversidad”, no habían sido comprendidos por 52% de los alumnos. Se propone que lo anterior debe haber sido la causa de la regular apropiación de los conceptos al final del semestre, ya que:

- a) No es posible entender la evolución, si no se tienen comprendidos adecuadamente los conceptos y procesos relacionados con la genética clásica y la de poblaciones.
- b) No se puede comprender el papel evolutivo de las mutaciones, si no se conoce el papel, la estructura y función del ADN y el proceso de la meiosis.
- c) . Los conceptos y procesos menos comprendidos fueron: especiación, transmisión de la información genética, origen de la biodiversidad y deriva génica.
- d) No se pueden interpretar adecuadamente los conceptos de genética de poblaciones, deriva génica y efecto cuello de botella, si previamente no se entiende el equilibrio de Hardy-Weinberg.
- e) El análisis de correlación entre los aspectos socioeconómicos y los académicos de los alumnos mostró que sólo el número de materias reprobadas se vinculó con el aprendizaje.

Se concluye que la integración que pretende el sistema educativo del CCH, de cuatro temas con conceptos *tan complejos e interdependientes*, no se puede lograr con suficiente éxito en periodos tan cortos y para adolescentes que tienen una carga académica cuestionable. Se asume que dado que los procesos y conceptos se encuentran tan relacionados, el que algún concepto (el que sea) sea poco comprendido, interferirá en la apropiación y aprendizaje de los demás.

Se concluye que, en su mayoría, los alumnos insertos en una cultura rica en prejuicios y creencias en eventos mágicos, no integran los contenidos científicos en sus explicaciones por lo que s fuerte resistencia a la alfabetización científica, ya

que socialmente no tenemos un marco de referencia adecuado del papel de la ciencia en nuestra vida diaria, ni de los beneficios que de ella emanan. Para los encargados de la docencia preuniversitaria el enfrentarse a este contexto es un gran reto y tomar conciencia de esta realidad es necesario para implementar estrategias que favorezcan la incorporación del pensamiento científico a los alumnos del bachillerato. Esta tesis es parte del esfuerzo que en la UNAM se hace para demostrarlo, comprenderlo y, más adelante, resolverlo.

La sociedad somos todos y todos somos corresponsables de lo bueno y lo malo que pasa en nuestro país; todos hemos y seguiremos contribuyendo al rumbo que tome nuestra sociedad, es por eso que desde la maestra del jardín de niños, los profesores de primaria, secundaria y bachillerato, los directivos escolares, instituciones educativas y dirigentes nacionales hasta los padres de familia y los alumnos, somos parte del problema y de la solución.

Referencias

Acevedo, J.A. (2007). Las actitudes relacionadas con la ciencia y la tecnología en el estudio PISA 2006. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(3), 394-416.

Acevedo, J.A., Vázquez, A., Martín-Gordillo, M., Oliva, J.M., Acevedo, P., Paixao, F., Manassero, M.A. (2005). La naturaleza de la ciencia y la educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 121-140.

Albaladejo, C., Lucas, A.M. (1988). Pupils meanings for mutation. *Journal of Biological Education*, 22(3), 215-219.

Álvarez, S.J. (1993). Contribución de la Sociedad Mexicana de Botánica a la Investigación y Conservación de la Biodiversidad (CONABIO) 1993. Vol. Esp. (XLIV). *Revista Sociedad Mexicana de Historia Natural*, 51-57.

Aznar, M., Ibáñez, M. (2006). Resolver situaciones problemáticas en genética para modificar las actitudes relacionadas con la ciencia. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 193-206.

Banet, E., Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato; Contenidos de enseñanza y conocimiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 137-153.

Banet, E. (2007). Finalidades de la educación científica en secundaria: opinión del profesorado sobre la situación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(1), 5-20.

Barberá, Ó. (1994). Historia del concepto de especie en biología. Historia y Epistemología de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 417-430.

Barthélemy-Madaule, M. (2009). *Lamarck o el mito del precursor*. En: Barahona A, Suárez E, Martínez S. Filosofía e Historia de la Biología, México, UNAM. 65-106.

Bazán Levy, J. (2001). Horizontes Actuales de la Educación Media Superior. En: *Aportes. Educación Media Superior*. México-CCH. 15-45.

Bowler, P. (2009). *El viaje del Beagle*. En: Barahona A, Suárez E, Martínez S. Filosofía e Historia de la Biología. México, UNAM. 185-200.

Bowler, P. (2010). Charles Darwin, el hombre y sus mitos. *Revista Ciencias, UNAM*. 97, 4-17.

Briscoe, C. (1991). The dynamic interactions among beliefs, role metaphores and teaching practices. A case study of teacher change. *Science Education*, 75(2), 185-199.

Bruner, J. (1986). Juego, pensamiento y lenguaje. *Perspectivas*, 16(1), 79-85.

Cachón, V., Barahona, A. (2002). La transición de la teoría del equilibrio puntuado hacia una teoría de rango medio. *Asclepio*, 54(2), 83-93.

Campanario, JM., Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar Ciencias? Principales Tendencias y Propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), 179-192.

Campos, M. A. (1999). *La organización conceptual en niños de primaria acerca del concepto de evolución*. Reporte de investigación del IIMAS, UNAM, México.

Cano-Santana, Z. (1995). ¿Cómo impartir clases en la carrera de biología?. *Revista Ciencias, UNAM*. 40, 10-16.

Caponi, G. (2004). Georges Cuvier ¿Un nombre olvidado en la historia de la fisiología? *Asclepio*. LVI,1, 169-207.

Caponi, G. (2007). *Contra la lectura adaptacionista de Lamarck*. En: Rosas A. Filosofía, Darwinismo y Evolución. Colombia: Universidad de Colombia. 3-18.

Carrascosa-Alís, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte 1). Análisis sobre las causas que las originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183-208.

Carrillo, C. (1991). Las Ciencias en la Educación Nacional. *Revista Ciencias, UNAM*. 24, 70-71.

Castañeda, G. (2008). *Estrategias de enseñanza y aprendizaje sobre biodiversidad en la Asignatura de Biología IV en el bachillerato del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM*. Tesis de Maestría. UNAM. México.

Castañón, R. (2000). *La educación media superior en México, una invitación a la reflexión*. México: Limusa, 1-25.

Cho, H., Kahle, J. y Norland, F. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics: some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, 69(5), 707-719.

Cortés, A.J. (2006). *Análisis de los procesos de enseñanza- aprendizaje y de apropiación en los alumnos del CCH Azcapotzalco, con respecto a los contenidos temáticos de la primera unidad del programa de Biología II*. Tesis de Maestría. UNAM. México.

Crisci, J. (2006). Espejos de Nuestra Época: Biodiversidad, Sistemática y Educación. *Gayana Bot.* 63(1), 106-114.

Díaz, F., Hernández, G. (1999). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo*. México: McGraw Hill, 1-232.

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

Fallas, M. (1996). Relación entre algunas características socioeconómicas del estudiante universitario y su rendimiento académico. San José Costa Rica. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 20 (2), 23-130.

Flores Camacho, F., Gallegos Cazares, L., García Franco, A., Vega Murguía, E., García Rivera, B. (2007). El conocimiento de los profesores de Ciencias naturales de secundaria. Un estudio en tres niveles. *Revista Iberoamericana de Educación*, 43(3), 1-19.

Flores-Crespo, P. (2009). *El docente como agente promotor de la reforma integral de educación media*. Campus milenio. *Milenio diario*, No 342. Jueves 22 de octubre. México.

GACETA UNAM, 1971. << Se creó el Colegio de Ciencias y Humanidades>> (1 de febrero Vol. II Número extraordinario).

Gago, A. (2007). CENEVAL y la evaluación externa de la educación en México. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 2 (2), 106-114. Disponible en:

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/155/15502208.pdf>

<http://redie.ens.uabc.mx/vol2no2/contenido-gago.html>

Fecha ultima de acceso: 10 de mayo del 2011.

Gago, J.M. (2004). Increasing human resources for science and technology in Europe. Report presented at the European community conference Europe needs more scientists. Bruselas, EU. (2 de abril de 2004). Disponible en:

http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf

Fecha ultima de acceso: 5 mayo del 2011.

Garay, A. (2001). *Los actores desconocidos. Una aproximación al conocimiento de los estudiantes*. México: ANUIES.

García, J.M. (2007). El agente secreto de la evolución. *¿Cómo ves?*, 97, 10-13.

Gené, A., (1991). Cambio conceptual y metodológico en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución de los seres vivos. Un ejemplo concreto. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 22-27.

Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furió, C., Martínez-Torregrosa, J. (1991). La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria. Barcelona: ICE, Universidad de Barcelona.

Grau, R. De Manuel, J. (2002). Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 32: 56-64.

Góngora, L. F., Cú Balan G. (2007). Las estrategias de enseñanza lúdicas como herramienta de la calidad para el mejoramiento del rendimiento escolar y la equidad de los alumnos del nivel medio. *Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 5(5), 60-67.

Gould, S. J. (1995). *Atados por la gran cadena del ser. En: La Sonrisa del flamenco*. Barcelona: Drakontos Crítica. 241-249.

Gould, S.J. y Lewontin, R. (1979). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proc. R. Soc. Lond; B*. 205, 581-598.

Guadarrama, R. (2010). *El concepto de adaptación biológica en el CCH Azcapotzalco: Un análisis del pensamiento didáctico docente para la mejora de los procesos de enseñanza aprendizaje*. Tesis de Maestría, UNAM, México.

Guillaumin, G. (2009). El desarrollo de la *metodología de la vera causa* en el siglo XIX. En: Barahona A, Suárez E, Martínez S. *Filosofía e Historia de la Biología*. México, UNAM.133-154.

Guillén, F. (1995). *¿Qué saben los estudiantes de secundaria sobre el tema de evolución?* En: Campos, M. *Problemas de acceso al conocimiento*. IIMAS, UNAM, México.

Harper, J. Hawksworth, D. (1995). *Biodiversity, measurement and estimation*. Chapman Hall. Londres, 5-11.

Jacob, F. (1998). *El ratón, la mosca y el hombre*. Barcelona: Drakontos Crítica. 1-67.

Jeffries, M. (1997). *Biodiversity and conservation*. Routledge. Londres. 4-6.

Jensen, M.S. y Finley, F.N. (1995). Teaching Evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79(2), 147-166.

Jiménez-Aleixandre, M. P., Fernández, J. (1989). ¿Han sido seleccionados o se han acostumbrado? Ideas de estudiantes de biología sobre la selección natural y consistencia entre ellas. *Infancia y Aprendizaje*. 47, 67-81.

Jiménez-Aleixandre, M. P. (1991). Cambiando las ideas sobre cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*. 9 (3), 248-256.

Jiménez-Tejada, M. P. (2009). *Los conceptos de población y de especie en la enseñanza de la biología: Concepciones, dificultades y perspectivas*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Kutschera, U y Niklas, K.J. (2004). The modern theory of biological evolution: An expanded synthesis. *Naturwissenschaften*. 91: 255–276.

Ledesma, I. (2000). *Historia de la biología*. México: AGT editor.1ª edición. 1-250.

Lenay, C. (1994). *La evolución. De la bacteria al hombre*. España: Conocer la Ciencia. Press pocket, 64-84.

León, A. (2010). *Los problemas de la evolución III, Teoría sintética*. Texto correspondiente al curso de doctorado. Departamento de antropología, lógica y filosofía de las ciencias. Madrid. Disponible en:

<http://www.interciencia.es/PDF/History/Evolucion%20III%20Teoria%20sintetica.PDF>

Fecha última de acceso: Mayo, 2011.

López, J.A. y Sánchez, J.M. (2001). *Ciencia, tecnología, sociedad y cultura en el cambio de siglo*, Biblioteca Nueva Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), 89-107.

Lovejoy, T.E. (1980). *Changes in biological diversity*. En: The global 2000 report to the President. (2). Penguin. Harmondsworth. EUA. 327-332.

Magaña, S.M. (2007). "Concepciones sobre evolución biológica presentes en estudiantes de licenciatura en educación primaria", *Memorias del IX Congreso Nacional de Investigación Educativa, Consejo Mexicano de Investigación Educativa*. Disponible en: <http://www.comie.org.mx/congreso/memoria/v9/aplicacion/pat05.htm>. Fecha última de acceso 18 de febrero de 2009.

Maldonado-Rivera, J.G. (1998). An examination of the factors affecting the teaching and learning of evolution. *Columbia University*. 393pp.

Márquez, A. (2009). *La inversión pública en educación, una exigencia del desequilibrio social*. Campus Milenio 338. Milenio Diario, jueves 24 de septiembre. México.

Martínez, M. (2005). *La enseñanza de la evolución biológica en 6to grado de educación primaria por medio de una estrategia cíclica*. Tesis de Maestría. UPN. México.

Martínez, C., Licea, J. (2008). La producción científica y tecnológica y las políticas públicas en México en el periodo 1995-1996. *CULCy T/Producción científica*. 5(29) 16-22.

Mayr, E. (1998). *Así es la biología*. Madrid: Debate Pensamiento. 1ª edición, 321 pp.

Mayr, E. (2006). *¿Por qué es única la biología? reflexiones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires: Katz Barpal Editores. 158 pp.

Medina, R. (1996). *Educación y modernidad: El bachillerato en México ante los desafíos del Tercer milenio*. Editorial Universitaria Potosina, México, 13-35.

Mensua, J. (2003). *Genética. Problemas y ejercicios resueltos*. Pearson-Prentice Hall. 124-127

Milner, R. (1995). *Diccionario de la evolución: La humanidad a la búsqueda de sus orígenes*. Barcelona: Bibliograf, S.A. 684 pp.

Moreno, J. (2002). *Historia de las teorías evolutivas*. En: Soler, M. Evolución: La base de la Biología. España. Editores Proyecto sur. 27-44.

Noguera, R. Ruiz, R. (2010). Dos siglos explicando la evolución, *Revista Ciencias*, UNAM. 97, 22-30.

Núñez, J. (2001). *Ciencia y cultura en el cambio de siglo. A propósito de C.P. Snow*. En: Ciencia, Tecnología, Sociedad y Cultura en el cambio de siglo. Biblioteca Nueva. Organización de Estados Americanos. 89-107.

Núñez, I., González Gaudiano, E., Barahona, A. (2003). La biodiversidad: historia de un concepto. *Interciencia*, 28(7), 387-393.

OCDE, Programme for International Student Assessment (PISA) Informe 2006, Disponible en:

http://www.pisa.oecd.org/document/51/0,3746,en_32252351_32235731_39732595_1_1_1_1,00.html. Fecha última de Acceso Enero 2010

OCDE, Programme for International Student Assessment (PISA) Informe 2009, Disponible en:

http://www.pisa.oecd.org/document/51/0,3746,en_32252351_32235731_39732595_1_1_1_1,00.html Fecha última de Acceso febrero 2011

Olea-Franco, A. (1986). La teoría del equilibrio puntuado. Una alternativa al Neodarwinismo. *Revista Ciencias*, UNAM. 1, 46-59.

Paz, R. V. (1999). *La enseñanza de la evolución en la educación primaria como una evidencia de los obstáculos a los que se enfrenta el niño para construir conceptos complejos*. Memorias del V Congreso de Investigación Educativa. Aguascalientes, México.

Pelayo, F. (2001). *De la creación a la evolución, Darwin. Científicos para la historia*. España: NIVOLA. 8, 18-29.

Peña, J.A. (2004). Un vistazo a la ciencia en México. *Ciencia Ergum Sum*. UAEM. 11(2), 5-11.

Plazas, E.A., Penso, R., López, E. (2006). Relación entre status sociométrico, género y rendimiento académico. *Psicología desde el Caribe*, 17, 176-195.

Poy, L. (2007^a). El país lejos de la meta de uno por ciento del PIB al sector: CONACYT. La Jornada 20 de enero. En: *CULCyT. Ciencias desde México* 4(18), 50-51.

Poy, L. (2007^b). Necesarios investigadores conscientes de las altas prioridades nacionales. La Jornada. Febrero 11. En: *CULCyT. Ciencias desde México*. 4(18), 53-54.

Pozo, J.I. Carretero, M. (1987). Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia?. *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52.

Rangel, M. (2007). *Conocimiento alterno sobre cambio biológico en alumnos de tercer semestre del bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Naucalpan*. Tesis de Maestría. UNAM. México.

Raup, D.M., Sepkoski, Jr. (1984). Periodicity of extinctions in the geologic past. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (81) 801-805.

Rendón, C; Stella, C; Alonso, M. (2009). Exploración de obstáculos epistémicos en el aprendizaje de genética y evolución de las poblaciones en el primer año de la universidad. *Enseñanza de las Ciencias Número Extra VIII. Congreso Internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias*, Barcelona 295-300.

Reyes, C. (2009). "Inadmisibile" la reducción del gasto educativo: legisladores. *Campus milenio* 339. *Milenio Diario*. Jueves 1 de octubre. México.

Roldao, I., Marques, L., Ferreira, A. (2001). Concepciones de alumnos de enseñanza secundaria sobre especiación y extinción, *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(2), 173-182.

Rosas, M. (2001). *El aprendizaje de la evolución biológica en niños de sexto grado: una propuesta metodológica de acercamientos sucesivos por estrategia cíclica*. Tesis de Maestría en desarrollo educativo. UPN. México.

Ruiz, R., Ayala, F.J. (1998). *El Método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*. México: Fondo de Cultura Económica, 30-32.

Rutledge, M.L. Mitchell, M.A. (2002). Knowledge structure, acceptance and teaching of evolution. *The American Biology Teacher*. 64(1), 21-28.

Rzendowski, J. (1990). Causas del endemismo. *Acta Botánica Mexicana*, 15: 47-64.

Sarukhán, J. (1989). *Las musas de Darwin*. La Ciencia desde México. 70, 296 pp.

Schussheim, V, Salas, E. (1985). *El guardián de los herbarios del rey. Jean Baptiste de Lamarck*. Gatopardos editores. CONACYT. 89 pp.

Serrano, T. (1987). Representaciones de los alumnos en Biología: Estado de la cuestión y problemas para su investigación en el aula. *Enseñanza de las ciencias* 5(3), 181-188.

Sequeiros, L., García de la Torre, E., Pedrinaci, E. (1995). Tectónica de placas y evolución biológica: Construcción de un paradigma e implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 14-22.

Sequeiros, L. (2002). La extinción de las especies biológicas. Construcción de un paradigma científico. *Monografías de la Academia de Ciencias Exactas Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza*. 21, 13-20.

Sloan, P. (2009). *Historia Natural, 1670-1802*. En: Barahona A, Suárez E, Martínez S. Filosofía e Historia de la Biología. México, UNAM. 41-64.

Sober, E. (1996). *Filosofía de la biología*. Alianza Editorial. Buenos Aires. 368 pp.

Talanquer, V. (2000). Ciencia, tecnología, sociedad. El movimiento CTS en México. ¿Vencedor vencido?. *Educación Química* 11(4), 381-386.

Tamayo-Hurtado, (2004). *Evolución de las teorías biológicas evolutivas en libros de texto de enseñanza en Chile*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Tirado, F., López, A. (1994). Evaluación de la enseñanza de la biología en México. *Revista de la Educación Superior ANUIES*. 89, 166-189.

Toledo, V.M. (1988). La diversidad biológica de México. *Ciencia y Desarrollo*. 81, 17-30.

Toledo, V.M. (1994). La diversidad biológica de México. *Revista Ciencias*, UNAM. 34, 43-59.

Torres, S. (1991). La diáspora de los científicos latinoamericanos. *Revista Ciencias*, UNAM. 24, 64-66.

Torres, J.L. (2004). *En el nombre de Darwin*. México. Fondo de Cultura Económica. 1-50.

Trejo, J. (2010). *Comparación de las ideas previas sobre la selección natural entre estudiantes de 4to y 6to semestre del CCH*. Tesis de Maestría. UNAM. México.

Valencia, S. (1991). El problema de la especie. *Revista Ciencias*, UNAM. 24,13-22

Velázquez, M. (2006). *Origen y desarrollo del plan de estudios del bachillerato universitario 1867-1990*. Cuadernos del CESU. UNAM, México.

Wilford, J.N. (1991). *El Enigma de los dinosaurios*. España: Biblioteca de Divulgación Científica. 27-38.