



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
(BIOLOGÍA)

FACULTAD DE CIENCIAS

DIFERENCIA Y RELACIÓN ENTRE HECHO, TEORÍA Y EVIDENCIA: PROPUESTA DIDÁCTICA DE BIOLOGÍA EVOLUTIVA PARA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA:

BIÓL. ROSARIO MONSERRAT ACOSTA PÉREZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ERÉNDIRA ALVAREZ PÉREZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR
(BIOLOGÍA)

FACULTAD DE CIENCIAS

DIFERENCIA Y RELACIÓN ENTRE HECHO, TEORÍA Y EVIDENCIA: PROPUESTA DIDÁCTICA DE BIOLOGÍA EVOLUTIVA PARA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA:

BIÓL. ROSARIO MONSERRAT ACOSTA PÉREZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. ERÉNDIRA ALVAREZ PÉREZ
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

Hoja de Datos del Jurado

1. Datos del alumno

Acosta
Pérez
Rosario Monserrat
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
303077338

2. Datos del tutor

Dra.
Eréndira
Alvarez
Pérez

3. Datos del sinodal 1

Dr.
Luis Felipe
Jiménez
García

4. Datos del sinodal 2

Dra.
Margarita Beatriz
Mata Acosta

5. Datos del sinodal 3

Dr.
Víctor Hugo
Anaya
Muñoz

6. Datos del sinodal 4

M. en D.
Ricardo
Guadarrama
Pérez

7. Datos del trabajo escrito

Diferencia y relación entre hecho, teoría y evidencia: propuesta didáctica de Biología evolutiva para Educación Media Superior
177 pp.
2018

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por abrir espacios que permiten continuar con una formación académica y por brindar la oportunidad de investigar y trabajar por hacer más grande a nuestro México.

A la Facultad de Ciencias por contribuir en mi formación como bióloga y por permitirme aprender cada día en sus aulas.

A la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior por contribuir en mi formación y profesionalización como docente y por ayudarme a armonizar los conocimientos de la pedagogía con los fascinantes temas de la biología.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada durante los estudios de la maestría.

Al Programa de Apoyo para Estudios de Posgrado (PAEP) por el apoyo brindado para presentar el trabajo: “Enseñanza y aprendizaje de la biología evolutiva en el bachillerato a partir de la distinción y articulación de hechos, modelos teóricos y evidencias” en el I Congreso Internacional Liderazgo y Mejora de la Educación organizado por la Universidad Autónoma de Madrid.

A mi tutora Eréndira Álvarez Pérez por confiar y apoyar mi trabajo. Por brindarme el tiempo, los materiales y el espacio necesario para concluir satisfactoriamente con la investigación. Por guiarme en el fascinante campo de la investigación en didáctica de la ciencia y por motivarme cada día para continuar haciendo investigación en didáctica de la biología evolutiva.

A mis sinodales:

Al Dr. Luis Felipe Jiménez García por el tiempo y las sugerencias siempre oportunas para mejorar el trabajo de investigación.

Al Dr. Víctor Anaya Muñoz por la disponibilidad, los comentarios y las sugerencias para mejorar el contenido de biología evolutiva y de la tesis en general.

Al M. en D. Ricardo Guadarrama Pérez por la enseñanza en didáctica de la biología, por las observaciones y las sugerencias oportunas para mejorar y fortalecer el trabajo de investigación y por mostrarme que la docencia es un trabajo que siempre se debe de hacer con responsabilidad, convicción, compromiso y pasión.

A la Dra. Margarita Mata Acosta por las asesorías y las sugerencias brindadas durante el proceso de elaboración de la tesis.

A mis asesores docentes, M. en D. Laura Jimena Gutiérrez Ramírez y M. en D. Jesús Israel Villavicencio Luis, por permitirme implementar la secuencia didáctica en sus grupos y por las recomendaciones para mejorar la secuencia y mi desempeño docente.

A los alumnos del CCH SUR, especialmente a los grupos 360 A, 460 A, 468 A y 654 A, por su entusiasmo, curiosidad, apertura y disponibilidad para aprender temas de biología evolutiva y por mostrarme que se puede ser un mejor docente si hacemos nuestro trabajo con pasión, responsabilidad y compromiso.

A mi madre porque todo lo que soy es gracias a ella. Por motivarme a seguir investigando y haciendo lo que más me gusta. Por apoyarme y estar presente en cada momento de mi vida aun en la distancia. Por ser mi amiga, mi ejemplo, mi guía y mi fortaleza.

A mi padre por ser mi ejemplo, mi consejero y mi maestro. Por aceptar y apoyar el trabajo que realizó en didáctica de la biología evolutiva. Por motivarme cada día a luchar por lo que me apasiona. Por tener siempre las palabras adecuadas en los momentos de tempestad, por ser mi guía cuando no encuentro el rumbo y por ser el mejor padre.

A Vale, Andrea, Kika y a mi tía Ofelia por ayudarme con su creatividad a darle forma y color a mis ideas.

A Isabel Ortíz y Aurora Vassallo mis mejores amigas, les agradezco infinitamente por los consejos, los regaños, las risas, los momentos especiales que pasamos juntas y por estar siempre al pendiente y acompañarme en todo momento.

A Carlos Estrada Moedano mi mejor amigo, por ser tan honesto, directo y divertido. Por las pláticas, los consejos y el apoyo incondicional. Por estar presente y sentirte cerca aunque nos separe el océano atlántico.

A JCGF por coincidir nuevamente y acompañarme en esta aventura. Por todas las experiencias y las enseñanzas que compartes conmigo. Por ayudarme a escribir un nuevo capítulo en nuestra historia y por apoyarme incondicionalmente en todo. Por ser ejemplo, inspiración y testimonio de que la educación puede cambiar a las personas. JCGF siempre te llevaré en mi corazón.

Finalmente, agradezco a los compañeros de generación MADEMS 2016 por los momentos que compartimos en las aulas, las pláticas, las discusiones, los consejos y los regaños. Sin duda, vivir esta aventura con ustedes fue increíble.



A mis padres

*“Las palabras nunca alcanzan cuando
lo que hay que decir desborda el alma.”*

-Julio Cortázar -



JCGF

*“Ojalá podamos tener el coraje de estar solos y la
valentía de arriesgarnos a estar juntos...”*

-Eduardo Galeano-



Juliette, Andreus y Vale

*“Nunca consideres el estudio como una obligación,
sino como una oportunidad para penetrar en el bello
y maravilloso mundo del saber.”*

-Albert Einstein-



Tabla de contenido

Índice de tablas, gráficas y figuras.....	12
Índice de abreviaturas.....	14
Síntesis.....	15
Introducción.....	17
Relevancia del tema.....	19
Planteamiento del problema.....	19
Objeto de estudio.....	21
Preguntas de investigación.....	21
Objetivos.....	22
Capítulo I. Marco teórico de biología evolutiva.....	23
1.1. El hecho de la evolución biológica.....	23
1.2. Explicaciones evolutivas.....	23
1.2.1. Modelo darwiniano.....	24
1.2.2. Síntesis evolutiva.....	26
1.2.2.1. Teoría de los equilibrios puntuados.....	26
1.2.2.2. Teoría neutral.....	28
1.2.3. Síntesis extendida.....	28
1.2.3.1. Herencia epigenética.....	29
1.2.3.2. Evo-Devo.....	31
1.3. Evidencias de la evolución biológica.....	34

1.4. Diferencia entre: hecho, teoría y evidencia.....	35
Capítulo II. Marco teórico de pedagogía y didáctica.....	38
2.1. Referente teórico del constructivismo.....	38
2.2. Obstáculos epistemológicos.....	43
2.3. Argumentación científica escolar.....	47
Capítulo III. Marco teórico de didáctica de biología evolutiva.....	51
3.2. Modelo a enseñar: evolución por variación y selección natural (MEVSEN).....	51
3.1. Enfoques didácticos.....	53
3.3. Importancia didáctica de distinguir y relacionar el hecho, la teoría y la evidencia en las explicaciones evolutivas.....	57
3.4. Desarrollo de pensamiento científico a partir de las explicaciones evolutivas...59	
Capítulo IV. Propuesta didáctica de biología evolutiva para Educación Media Superior.....	61
4.1. Modelo educativo.....	61
4.2. Ubicación del contenido disciplinar.....	61
4.3. Población de estudio.....	63
4.4. Objetivos de la propuesta didáctica.....	65
4.5. Planificación de la secuencia didáctica.....	65
4.5.1. ¿Qué es una secuencia didáctica?.....	65
4.5.2. ¿Qué es una planificación?.....	65
4.5.3. Secuencia didáctica de biología evolutiva.....	67
4.6. Calibración de la propuesta.....	69

4.6.1. Resultados.....	70
4.7. Alcances de la propuesta.....	79
Conclusiones.....	84
Bibliografía.....	88
ANEXOS.....	101
ANEXO 1. Muestra de estudio.....	101
ANEXO 2. Metodología didáctica.....	103
ANEXO 3. Secuencia didáctica de biología evolutiva.....	106
ANEXO 4. Explicaciones a casos de evolución adaptativa.....	119
ANEXO 5. Componentes de la argumentación científica escolar en explicaciones a casos de evolución adaptativa.....	129
ANEXO 6. Diferencia y articulación de los conceptos, hecho, teoría y evidencia en las explicaciones a casos de evolución adaptativa.....	135
ANEXO 7. Evaluación diagnóstica.....	145
ANEXO 8. Rúbrica de evaluación diagnóstica.....	146
8.1. Rúbrica para la evaluación diagnóstica inicial.....	146
8.2. Rúbrica para la evaluación diagnóstica final.....	147
ANEXO 9. ¿Cómo argumentar en una clase de ciencias?.....	148
9.1. La prueba de paternidad.....	148
9.2. El origen de la célula eucariota.....	150
ANEXO 10. Tarjetas para formar grupos de trabajo.....	153
ANEXO 11. Casos de adaptación.....	154

ANEXO 12. Hoja de experto.....	155
ANEXO 13. Material para el juego de simulación de la selección natural.....	157
ANEXO 14. Modelo de Evolución por Selección Natural (MESN).....	158
ANEXO 15. Fichas para el torneo del MEVSEN.....	162
ANEXO 16. Hoja de respuestas de las preguntas del torneo del MEVSEN.....	163
ANEXO 17. Rompecabezas de las Evidencias de la Evolución Biológica (EEB)...	165
ANEXO 18. Rótulos de las EEB.....	168
ANEXO 19. El genotipo ahorrador.....	169
ANEXO 20. Evaluación post-instruccional.....	172
ANEXO 21. Evaluación al profesor por parte de los alumnos.....	173
ANEXO 22. Evaluación al profesor por parte del asesor docente.....	175

Índice de tablas, gráficas y figuras

Tabla 1. Familia de modelos evolutivos. Se muestra un resumen de la teoría evolutiva y de los diferentes mecanismos evolutivos a partir de la relación entre el hecho, la teoría y la evidencia.

Tabla 2. Referentes teóricos del constructivismo. Principales representantes de los modelos constructivistas; sus principios y concepciones en relación con el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Tabla 3. Enfoques didácticos. Se sintetizan los enfoques de obstáculos epistemológicos y de argumentación científica escolar, que permitieron construir el enfoque de investigación e intervención nombrado: “Diferencia y articulación entre hecho, teoría y evidencia” y que sirvió para el diseño de la secuencia didáctica de biología evolutiva de esta investigación.

Tabla 4. Población de estudio de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. Total de estudiantes de la población de estudio que trabajaron con la secuencia didáctica de la biología evolutiva.

Tabla 5. Muestra de estudio de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. Total de alumnos de la muestra seleccionada para realizar la calibración de la propuesta didáctica de biología evolutiva.

Tabla 6. Secuencia didáctica de biología evolutiva. En la tabla se sintetiza la secuencia didáctica de biología evolutiva diseñada en esta investigación.

Tabla 7. Explicaciones a casos de evolución adaptativa. Se muestran los resultados del análisis del discurso que se realizó a las explicaciones sobre los casos de evolución adaptativa en los cuatro grupos.

Tabla 8. Componentes de la argumentación científica escolar en explicaciones a casos de evolución adaptativa. Combinación de los componentes de la argumentación científica escolar en las explicaciones a los casos de evolución adaptativa de los cuatro grupos de investigación y su puntaje de acuerdo a las especificaciones de la rúbrica de evaluación.

Tabla 9. Diferencia y articulación de los conceptos: hecho, modelos teóricos y evidencias en las explicaciones a casos de evolución adaptativa. Resultados de la diferencia y la articulación de los conceptos, hecho, modelo teórico y evidencias a partir de la comparación de los resultados del análisis del discurso y la argumentación científica escolar.

Tabla 10. Tipos de explicaciones a casos de evolución adaptativa. Las explicaciones a los casos de evolución adaptativa en las evaluaciones diagnóstica y final reflejan obstáculos epistemológicos, explicaciones cercanas al modelo de

evolución por variación y selección natural así como respuestas híbridas que se caracterizan por presentar obstáculos epistemológicos y una idea cercana al modelo enseñado.

Tabla 11. Argumentación científica escolar en explicaciones a casos de evolución adaptativa. Se muestran las combinaciones de los componentes de la argumentación científica escolar que se obtuvieron de las respuestas a los casos de evolución adaptativa en los cuatro grupos de estudio.

Tabla 12. Diferencia y articulación de hecho, teoría y evidencia. Resultados de la comparación entre el análisis del discurso y los elementos de la argumentación científica escolar y su relación en la diferenciación y la articulación del hecho, la teoría y la evidencia en la construcción de explicaciones a casos de evolución adaptativa.

Tabla 13. Resultados globales de los tres enfoques de investigación. Se muestran los resultados globales de las explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa a partir de los tres enfoques de investigación (obstáculos epistemológicos, argumentación científica escolar y articulación de los conceptos, hecho, teoría y evidencia) que se propusieron como ejes estructurales de esta investigación. Los porcentajes se obtuvieron a partir de la muestra de estudio (N=49) que representa a los estudiantes que realizaron la evaluación diagnóstica y final.

Gráfica 1. Análisis del discurso. Se muestran las diferencias entre el número de explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa. Aunque los obstáculos epistemológicos persisten después de la implementación de la secuencia didáctica se evidencia que los alumnos comienzan a utilizar un lenguaje científico y en consecuencia construyen explicaciones seleccionales.

Gráfica 2. Análisis de la argumentación científica escolar. Se presentan las diferencias en el uso y la combinación de los elementos de la argumentación científica escolar en las explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa.

Gráfica 3. Análisis de la diferencia y la articulación del hecho, la teoría y la evidencia. Se muestran los conceptos propuestos en el modelo de investigación de la secuencia didáctica y su uso en las explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa.

Figura 1. Organización de equipos para la simulación de la selección natural. Se ejemplifica la organización de los roles que se deben cumplir en los equipos para realizar la simulación de la selección natural.

Figura 2. Distribución de las mesas de trabajo. Se ejemplifica la distribución y la organización de los equipos para el TGT del MEVSEN.

Índice de abreviaturas

ACE	Argumentación científica escolar
BE	Biología evolutiva
CCH	Colegio de Ciencias y Humanidades
E	Evidencias
EB	Evolución biológica
EEB	Evidencias de la evolución biológica
LE	Lógico y evidencias
LP	Lógico y pragmático
LPR	Lógico, pragmático y retórico
LR	Lógico y retórico
LRE	Lógico, retórico y evidencias
MESN	Modelo de evolución por selección natural
MEVSEN	Modelo de evolución por variación y selección natural
N	Ninguno
NUP	Modelo de nudos problemáticos
RCI	Razonamiento centrado en el individuo
RCL	Razonamiento causal lineal
STR	Short Tandem Repeats
TE	Teoría y evidencia
TGT	Teams Games Tournaments
TL	Teórico y lógico
TLP	Teórico, lógico, pragmático
TLPR	Teórico, lógico, pragmático y retórico
TLPRE	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias
TLR	Teórico, lógico y retórico
TLRE	Teórico, lógico, retórico y evidencias
TR	Teórico y retórico
TSC	teleología de sentido de común

Síntesis

La enseñanza y el aprendizaje de la biología evolutiva son fundamentales en todos los grados educativos. Su importancia radica en la transversalidad y la trascendencia de estos contenidos dentro de la biología y en la relación que tienen con otras disciplinas en tanto explican fenómenos tales como la diversidad, la extinción y la adaptación. Además, integran contenidos teóricos y metodológicos fundamentales para formar pensamiento científico. Sin embargo, existen investigaciones en didáctica de las ciencias que reportan diversos problemas en la enseñanza y el aprendizaje de dichos contenidos. Es por ello que se diseñó y se aplicó una secuencia didáctica de biología evolutiva para la asignatura Biología II de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México. La propuesta se diseñó considerando la identificación del hecho o fenómeno natural a estudiar, así como la teoría que lo explica y las evidencias que confirman la ocurrencia del fenómeno y al mismo tiempo validan los postulados de la teoría que lo explica. En el contenido se integraron habilidades, actitudes y conceptos de argumentación científica escolar para favorecer el desarrollo de pensamiento científico. Al final de la intervención didáctica se observaron cambios importantes en la manera de explicar casos de evolución adaptativa.

Abstract

The teaching and learning of evolutionary biology are fundamental to all educational levels. Its importance lies in the transversality and transcendence of teaching and learning of evolutionary contents within biology and in the relationship with other disciplines, explaining phenomena such as diversity, extinction and adaptation. In addition to it, they integrate fundamental theoretical and methodological contents to form scientific thought. However, research in science didactics reports various issues in the teaching and learning of these contents. In view of this, a didactic sequence of evolutionary biology was designed and applied for the module Biology II of the National School College of Sciences and Humanities of the National Autonomous University of Mexico. The research proposal was designed taking into consideration the identification of fact or natural phenomenon to be studied, as well as the theory that explains it, and the evidence that confirms the occurrence of the phenomenon and at the same time validates the postulates of the theory that describes it. Skills, attitudes and concepts of scholarly scientific discussion were integrated to favour the development of scientific thought. At the end of the didactic intervention important changes were observed in the way cases of adaptive evolution were explained.

Introducción

Los modelos evolutivos son centrales en las ciencias biológicas (Ayala, 2011: 32-33; Futuyma, 2009: 1, 14). Además son temas fundamentales y transversales en la enseñanza y el aprendizaje de la biología en todos los grados escolares (Ruiz *et al.*, 2012: 85; Sanders y Ngxola, 2009: 122), debido a que explican diferentes fenómenos naturales y dan solución a problemáticas sociales como la clonación, el uso de antibióticos, la protección de la biodiversidad, entre otros.

Aunque los contenidos de biología evolutiva son importantes, diferentes investigaciones en didáctica de las ciencias reportan problemáticas en su enseñanza y su aprendizaje (Alvarez-Pérez *et al.*, 2010; González-Galli, 2011; González-Galli, 2010 (a) (b); González-Galli y Meinardi, 2015; van Dijk y Reydon, 2010, entre otros).

Recientemente, Acosta-Pérez (2014) evidenció que una muestra de estudiantes de secundaria no supo distinguir entre hecho, teoría, evidencia y resultados de la evolución biológica. A partir de esta investigación y de otras en el campo, se propuso precisar la diferencia y la relación entre los conceptos: hecho, teoría y evidencia, en los contenidos biología evolutiva, para favorecer el desarrollo de pensamiento científico.

Considerando lo anterior, se diseñó una secuencia didáctica de tres sesiones, para el Tema II. *La evolución como proceso que explica la diversidad de los sistemas vivos*. La cual tiene como objetivo la enseñanza y el aprendizaje de los conceptos fundamentales del modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSEN), el fenómeno que explica (la adaptación), las evidencias de la evolución biológica (EEB) y la argumentación científica escolar (ACE).

La propuesta didáctica se aplicó a cuatro grupos de biología de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur. Durante las sesiones se usaron recursos didácticos diseñados en esta investigación específicamente para cumplir

con los objetivos de diferenciar y relacionar el hecho, la teoría y la evidencia, articulados al contenido de argumentación científica escolar.

En la primera sesión se aplicó una evaluación diagnóstica para identificar qué sabían los alumnos sobre biología evolutiva y argumentación científica escolar. La evaluación consistió en elaborar una explicación al problema de los piojos que plantea un caso de evolución adaptativa, el cual se tomó de la investigación de González-Galli y Meinardi, 2015. Además, se modeló la argumentación científica escolar y se presentaron los cinco componentes que la caracterizan (teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias).

La sesión dos consistió en explicar los conceptos fundamentales del MEVSEN, realizar una simulación de la selección natural con un caso hipotético y un *torneo* del MEVSEN.

En la sesión tres se presentaron las evidencias de la evolución biológica que la confirman como un hecho contundente y al mismo tiempo apoyan la potencia explicativa del MEVSEN. Al término de la sesión, se aplicó una evaluación final para determinar qué aprendieron los alumnos sobre los contenidos de la secuencia didáctica que consistió en elaborar una explicación al problema de los peces que plantea un caso de evolución adaptativa, el cual se tomó de la investigación de González-Galli y Meinardi, 2015.

A partir de las diferencias entre la evaluación diagnóstica y la evaluación final, se llegó a la conclusión de que la secuencia didáctica propicia cambios en la manera de explicar casos de evolución adaptativa y favorece que los alumnos construyan explicaciones y argumentos con base en modelos científicos.

Relevancia del tema

Los modelos evolutivos son centrales en las ciencias biológicas porque explican diferentes fenómenos de lo vivo (Ayala, 2011: 32-33; Futuyma, 2009: 1, 14; Valero y Jardón, 2006: 17; González-Galli, Adúriz-Bravo, A. y Meinardi, 2005: 1). Por lo tanto, son temas fundamentales y transversales en la enseñanza y el aprendizaje de la biología en todos los grados educativos (Ruiz *et al.*, 2012: 85; Sanders y Ngxola, 2009: 122). Además, los contenidos de biología evolutiva permiten desarrollar pensamiento científico, ya que incluyen conocimientos teóricos y metodológicos para explicar fenómenos naturales y resolver problemáticas de la vida diaria (Ayala, 2011: 32-33; Futuyma, 2009: 1, 14; Valero y Jardón, 2006: 17).

Planteamiento del problema

A pesar de la importancia de los contenidos de biología evolutiva, investigaciones en didáctica de las ciencias en diversas partes del mundo reportan diferentes problemas en la enseñanza y el aprendizaje de estos temas (Alters y Nelson, 2002; Alvarez-Pérez *et al.*, 2010; Chuang, 2003; Fail, 2008; Fernández y Sanjosé, 2007; Geraedts y Boersma, 2006; González-Galli, 2011; González-Galli *et al.*, 2005, 2010 (a) (b); Hernández, Alvarez-Pérez y Ruiz, 2009; Jiménez Aleixandre, 2002; Kampourakis, 2007, Moore y Cotner, 2009; Tidon y Lewontin, 2004; van Dijk y Reydon, 2010, entre otros).

Los problemas reportados se clasifican en diferentes categorías de análisis, entre las que destacan la naturaleza del modelo a enseñar¹, los planes y los programas

¹ La teoría evolutiva es conceptualmente compleja. Además, existen controversias y debates sobre los conceptos y los modelos científicos que la integran (van Dijk y Reydon, 2010).

de estudio², los contenidos³, los profesores⁴, los alumnos⁵ y los recursos didácticos⁶.

Recientemente, la investigación de Acosta-Pérez (2014) evidenció que una muestra de estudiantes de primer grado de educación secundaria de la Ciudad de México, no supo distinguir entre hecho, teoría, evidencia y resultados de la evolución biológica. Cabía preguntarse si esto sucedía también en educación media superior.

A partir de las diferentes problemáticas que se han documentado en la literatura de didáctica de la biología, Alvarez-Pérez (2015) propuso el modelo de nudos problemáticos (NUP) con el objetivo de mostrar una cartografía del terreno didáctico que sirva para profesores e investigadores como una guía para orientar en cuál o cuáles nudos problemáticos se ubican las dificultades, de dónde provienen y a qué o a quién dirigir el trabajo didáctico.

El planteamiento central del NUP menciona que:

“En el proceso de enseñanza y de aprendizaje se anudan problemáticas de diferente naturaleza como los obstáculos epistemológicos de los alumnos y los profesores, la formación y la trayectoria de los alumnos y los docentes, la naturaleza del modelo a enseñar,

² El espacio curricular que se destina al contenido de biología evolutiva es escaso y existen errores en la presentación y en la secuencia de los contenidos (Tidon y Lewontin, 2004; Alvarez-Pérez, 2015).

³ En los libros de texto hay indistinción entre el significado de conceptos en el lenguaje científico y el lenguaje común. Además, se presentan explicaciones simplificadas de los conceptos biológicos (Tidon y Lewontin, 2004; van Dijk y Reydon, 2010, Sanders y Ngxola, 2009).

⁴ Algunos profesores no consideran la evolución como un tema central y fundamental para la biología. Incluso por presiones sociales y creencias personales no enseñan la teoría de la evolución (Chuang, 2003; Moore y Cotner, 2009). También se señala que los profesores no conocen en su totalidad la teoría evolutiva y carecen de preparación científica (Moore y Cotner, 2009). Por lo que algunos prefieren enseñar teorías anti-evolutivas como el creacionismo (Tidon y Lewontin, 2004). Además, algunos profesores desconocen los conocimientos previos de los alumnos, por lo que minimizan, restan importancia, ignoran sus dudas y consideran que no tienen una base teórica suficiente para comprender la evolución biológica (Tidon y Lewontin, 2004; Sanders y Ngxola, 2009).

⁵ Los alumnos consideran que la teoría evolutiva es poco estricta y sin pruebas. Además, presentan conceptos alternativos a la teoría y un nivel bajo de comprensión de los principios evolutivos (Chuang, 2003). También presentan concepciones alternativas, lamarckianas (Tidon y Lewontin, 2004; van Dijk y Reydon, 2010) y obstáculos epistemológicos para explicar conceptos fundamentales de la evolución (González-Galli, 2011).

⁶ Existen pocos recursos didácticos sobre los contenidos evolutivos y tiempo para utilizar el material en las horas de clase (Alvarez-Pérez, 2015; (Tidon y Lewontin, 2004). En algunos libros de texto no se toman en cuenta las dificultades que los alumnos enfrentan con los temas de evolución (Tidon y Lewontin, 2004)

las estrategias didácticas, el espacio y el formato curricular que ocupa el tema, las imágenes de la evolución desafortunadas usadas como recursos didácticos, el tratamiento del tema en los libros de texto, lo que es más frecuente, diversas combinaciones de estos factores, lo que complejiza su resolución. Esos nudos problemáticos pueden estar relacionados- y aún ser origen unos de otros-...“ (Alvarez-Pérez, 2015: 109-110).

“Los problemas que se condensan en la interacción didáctica, pueden agruparse en terrenos de diferente naturaleza, por lo que una organización integrada y coherente ayuda a identificar las fuentes de origen y la naturaleza de las dificultades que intervienen formando nudos problemáticos en la comprensión de las teorías evolutivas...” (Alvarez-Pérez, 2015: 113).

Objeto de estudio

A partir de la investigación de Acosta-Pérez (2014) se propone precisar la diferencia y la relación entre los conceptos: hecho, teoría y evidencia, para favorecer el desarrollo de pensamiento científico en particular de pensamiento evolutivo.

Con esto se espera que los estudiantes logren explicar fenómenos biológicos, generen conclusiones a partir de evidencias y comprendan que las teorías evolutivas son un sistema de explicaciones y principios relacionados (Coney, 2009: 39, Ruiz y Ayala, 1998: 24).

Preguntas de investigación

¿Qué es hecho, teoría y evidencia y cuáles son las diferencias entre estos conceptos?

¿Por qué es importante aprender contenidos de biología evolutiva enfatizando la diferencia y la relación entre hecho, teoría y evidencia?

¿Cómo se puede enseñar y aprender biología evolutiva a partir de distinguir y relacionar hecho, teoría y evidencia?

Objetivos

Generar una propuesta didáctica para educación media superior, con contenidos de biología evolutiva, en la que se enfatice la diferencia y la relación entre hecho, teoría y evidencia.

Proponer la argumentación como estrategia para la formación de pensamiento científico en los alumnos de bachillerato.

Capítulo I. Marco teórico de biología evolutiva

1.1. El hecho de la evolución biológica

Con base en las investigaciones y en las evidencias que han aportado las diferentes disciplinas de la biología, se puede afirmar que la evolución biológica es un hecho contundente que ocurre en la naturaleza (Ayala, 2011: 34). Este fenómeno, se define como la transformación de las especies a través del tiempo a partir de un ancestro común, que da como resultado la diversidad de especies que existen en el planeta (biodiversidad), el origen de nuevas especies a partir de especies ancestrales (especiación) y la extinción de las especies por medio de procesos naturales o por acciones humanas.

1.2. Explicaciones evolutivas

La biología evolutiva (BE) es el área de conocimiento que se centra en el estudio e investigación de la evolución biológica de las especies (Guzmán-Sánchez, 2013:130) y está conformada por un conjunto de modelos teóricos que explican diferentes fenómenos evolutivos (González-Galli, 2015: 104; González-Galli, 2010[b]: 227; González-Galli, *et al.*, 2005: 2; Moya, 1989: 22, 30).

El contenido teórico de los modelos que integran a la BE, se pueden encontrar en temas particulares de toda la biología, así como en otras áreas disciplinares como sociología, filosofía, entre otras (Ayala, 2011: 32-33; Folguera y González-Galli, 2012: 5; Futuyma, 2009: 1, 14; González-Galli, 2016: 490; González-Galli, *et al.*, 2005: 2; Valero y Jardón, 2006: 17; Van Dijk y Kattmann, 2009: 479).

La importancia de las explicaciones evolutivas radica en que son centrales para la biología y unifican la enseñanza de esta disciplina (Folguera y González-Galli, 2012: 5; Futuyma, 2009: 1; González-Galli, 2016: 491; Mc Vaughn *et al.*, 2011: 286, 288; Van Dijk y Kattmann, 2009: 479-480, 482). Por lo tanto, su contenido debe

considerarse como un elemento fundamental del currículum en todos los grados escolares (González-Galli, 2016: 490; Sanders y Ngxola, 2009: 122; Van Dijk y Kattmann, 2009: 480; Zabel y Gropengiesser, 2011: 143).

Además, la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos de biología evolutiva permiten a los individuos entender, tomar decisiones informadas, participar en debates y proponer soluciones concretas a problemas de salud (uso de antibióticos), ética (clonación) y protección de la biodiversidad (Pérez y González-Galli, 2016: 477, 479).

1.2.1. Modelo darwiniano

El modelo darwiniano o teoría de la selección natural propuesto por Charles Robert Darwin (1809-1882) en el año de 1859⁷ explica cómo se adaptan las especies a través del tiempo al medio en el que viven, a partir de la selección natural de variaciones favorables para la supervivencia y la reproducción (Slingsby, 2013: 99) y cómo, a partir de especies ancestrales, se originan nuevas especies que presentan nuevas y variadas formas de adaptación (Acosta-Pérez, 2014: 33; Pigliucci, 2009: 219).

Los argumentos fundamentales del modelo darwiniano son:

En las poblaciones existe variación, es decir, los individuos presentan diferencias entre sí y la variación que es favorable en un determinado tiempo y espacio, es heredada a la descendencia (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 67-70, 84; González-Galli, 2010b: 232-233; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008: 465-

⁷ La teoría de la evolución por selección natural fue propuesta por primera vez por Charles Robert Darwin (1809-1882) y Alfred Russel Wallace (1823-1913) en el artículo "On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection. By Charles Darwin, Esq., F.R.S., F.L.S., y F.G.S., and Alfred Wallace, Esq. Communicated by Sir Charles Lyell, F.R.S., F.L.S., and J. D. Hooker, Esq., M.D., V.P.R.S., F.L.S. y c.". Este trabajo se leyó el 1 de julio de 1858 en La Sociedad Lineana en ausencia de los autores y el 20 de agosto del mismo año se publicó en el Journal of the Proceedings of the Linnean Society: Zoology. Posteriormente en noviembre de 1859 Charles Darwin publicó el libro "El origen de las especies por medio de la selección natural", en el que proporcionó la teoría de la evolución que dio origen a la biología como la conocemos en la actualidad (Pigliucci, 2009: 218).

466). Por lo tanto, la herencia de estas variaciones es un requisito previo y necesario para que ocurra la evolución (González-Galli, 2010b: 227).

En las poblaciones nacen más individuos de los que pueden sobrevivir. Sin embargo, existen factores ambientales (espacio, alimento, pareja, depredadores, enfermedades, entre otros) que regulan el tamaño poblacional. Por lo tanto, sólo algunos individuos logran sobrevivir y reproducirse (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 68, 85-89, 98; González-Galli, 2010b: 233-234; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008:467-468).

Debido a que nacen más individuos de los que pueden sobrevivir y los recursos son limitados, acontece la lucha por la existencia. En esta lucha, los individuos que presentan variaciones que son favorables según el medio en el que viven, tendrán mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse que los individuos que no la presentan. Por lo tanto, los individuos con una variación ventajosa tendrán más probabilidades de sobrevivir, reproducirse y dejar descendientes con la misma característica. Después de muchas generaciones, la característica ventajosa predominará en la población (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 68, 85-89, 98; González-Galli, 2010b: 234-235; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008:467-468).

La preservación de las características ventajosas y la eliminación de las características perjudiciales es lo que Darwin (1809-1882) definió como selección natural (Darwin, 2009 (1859): 84).

El modelo darwiniano o modelo de evolución por variación y selección natural es el núcleo a partir del cual se expande la biología evolutiva (Pigliucci, 2009: 218-220) y es el centro conceptual de la teoría sintética de la evolución a partir del cual se explica la adaptación, el origen y la diversidad de las especies (Alvarez-Pérez, 2015: 40; Folguera y González-Galli, 2012: 7, 11; Slingsby, 2013: 99; Zabel y Gropengiesser, 2011: 145). Por lo tanto, es un tema que debe enseñarse en las clases de ciencias como una teoría interesante e importante (Slingsby, 2013: 99).

1.2.2. Síntesis evolutiva

En 1947, en el congreso de Princeton; Dobzhansky, Mayr, Simpson, Huxley y Stebbins llegaron a un acuerdo para unificar los argumentos de las diferentes disciplinas de la biología sobre el origen de las especies. Con esto surge la teoría sintética de la evolución que integra los conceptos fundamentales de la teoría darwiniana, los conceptos básicos de la genética mendeliana y la genética de poblaciones (Dickins y Rahman, 2012: 2913-2914; Folguera y González-Galli, 2012:4 - 6; Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterelny, R., Müller, G., Moczek, A, Jablonka, E. y Odling-Smee, J., 2015: 1-2; Laland, K., Uller, T., Feldman, M., Sterelny, K., Müller, G., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, L., Wray, G., Hoekstra, H., Futuyma, D., Lenski, R., Mackay, T., Schluter, D. y Strassmann, J., 2014: 162-163; Morrone y Magaña, 2009: 402-404; Ruiz y Ayala, 2002: 125-126; Pigliucci, 2009: 220).

Los postulados centrales de la teoría sintética de la evolución son: 1) existe evolución gradual y continua, 2) las principales fuentes de variación son mutación, recombinación genética y flujo génico; 3) hay dos procesos importantes, uno selectivo (selección natural) y otro azaroso (deriva génica); 4) existen procesos micro y macro evolutivos (Dickins y Rahman, 2012: 2914; Laland *et al.*, 2015: 2, 5; Ruiz y Ayala, 2002: 124; Morrone y Magaña, 2009: 404-405; Pigliucci, 2009: 220) y 5) reconoce a la población como la unidad de evolución (Folguera y González-Galli, 2012: 7).

1.2.2.1. Teoría de los equilibrios puntuados

Darwin interpretó que los huecos en el registro fósil se debían a la falta de fosilización y a las fallas en su estudio. Sin embargo, en 1972, Niels Eldredge y Stephen J. Gould cuestionaron la interpretación de la evolución gradual de Darwin y Simpson; señalaron que los huecos en el registro fósil se deben a que la evolución morfológica se da en un primer momento de manera rápida y posteriormente se

observa un periodo de estasis, en el que se producen mínimos o nulos cambios estructurales en las especies (Ruiz y Ayala, 2002: 171; Eldredge y Gould, 1972: 82, 84,95, 113-114; Gould y Eldredge, 1977: 115-116)

Esta teoría propone que la evolución ocurre en dos etapas, una rápida en la que surge una nueva especie (especiación) y en la que se presentan la mayoría de los cambios morfológicos y otra en la que los caracteres fundamentales de la especie permanecen estables durante miles de años (estasis) (Ruiz y Ayala, 2002: 171-173, 179-180, 213, 409-410; Eldredge y Gould, 1972: 95-96, 112-114; Gould y Eldredge, 1977: 115-117, 139-140).

Para Gould y Eldredge, la especiación es el proceso que ha generado la diversidad de especies en el planeta (Ruiz y Ayala, 2002: 193-194, 213; Eldredge y Gould, 1972: 84; Gould y Eldredge, 1977: 115) y el modelo de especiación que proponen es el alopátrico, que ocurre cuando una porción de la población ancestral queda aislada en la periferia del territorio de la población principal por el surgimiento de una barrera geográfica (Eldredge y Gould, 1972: 84, 96, 112-114; Gould y Eldredge, 1977: 115-117, 139-140).

En consecuencia, Gould y Eldredge propusieron que el modo o el mecanismo del cambio evolutivo en el nivel de las especies es la cladogenésis y el ritmo evolutivo de dichos eventos de ramificación son geológicamente instantáneos (Ruiz y Ayala, 2002: 407, Gould y Eldredge, 1977: 115-116).

Los puntualistas al igual que los neutralistas sostienen que el mecanismo que opera a nivel molecular es la deriva génica. Por lo tanto, sostienen que muchos de los caracteres de los seres vivos no son resultado de la selección natural, sino que son características secundarias de una estructura que pueden llegar a tener una utilidad, es decir, exaptaciones (Ruiz y Ayala, 2002: 184).

1.2.2.2. Teoría neutral

Kimura y Ohta en el año 1983, propusieron que la diversidad molecular se debe principalmente a la presencia de mutaciones neutras que no tienen repercusiones negativas ni positivas en el funcionamiento del DNA y las proteínas (Ruiz y Ayala, 2002: 156-157, 167; Motto, K., 1968: 624-626). La explicación que dan estos autores es que en cada locus existen varios mutantes que son adaptativamente equivalentes y que pueden realizar las mismas funciones. Por lo tanto, al existir mínimas diferencias en la adecuación de los alelos, la selección natural no actúa entre ellos (Freeman y Herron, 2002: 612; Ruiz y Ayala, 2002:160; Motto, K., 1968: 624-626; King, J., 1969: 795-796).

Lo que determina el aumento o la disminución de las frecuencias alélicas de los mutantes neutrales se debe a procesos estocásticos y no a procesos determinísticos como la selección natural (Freeman y Herron, 2002: 612; Ruiz y Ayala, 2002:157; Laland *et al.*, 2014: 162; Motto, K., 1968: 624-626; King, J., 1969: 795-796, 788-789). Por lo tanto, para la teoría de la evolución molecular la deriva génica es la fuerza evolutiva que fija los fenotipos de manera azarosa (Motto, K., 1968: 624-626; King, J., 1969: 795-796, 788-789).

Es importante mencionar que los autores de la teoría neutralista reconocen que el mecanismo principal para explicar la adaptación es la selección natural de variaciones favorables para la supervivencia y la reproducción (Ruiz y Ayala, 2002:161-167).

1.2.3. Síntesis extendida

Años después del establecimiento de la teoría sintética de la evolución, diferentes investigadores como Stephen Jay Gould, Richard Lewontin, Niles Eldredge, Ian Tattersall, Moto Kimura, entre otros, cuestionaron los mecanismos propuestos por la síntesis evolutiva (Folguera y González-Galli, 2012: 7).

Así comenzó el desarrollo de la síntesis extendida de la evolución, un proyecto de investigación que surgió como una crítica y rechazo a los principales postulados de la síntesis evolutiva. Especialmente criticaron el adaptacionismo y el rol central del gen. Por lo que propusieron una expansión y una articulación de los conceptos, las teorías y las áreas de investigación que pudieran aportar más datos y explicaciones sobre los procesos evolutivos.

La síntesis extendida propone mecanismos adicionales a la herencia genética como la herencia epigenética, conductual y simbólica (Dickins y Rahman, 2012:2916; Laland *et al.*, 2014:162-163; Pigliucci, 2009: 223). Así como una relación entre la ecología y la biología evolutiva en la que destacan procesos como la construcción de nichos, la plasticidad fenotípica y el sesgo evolutivo que potencializan la formación de nuevos fenotipos (Laland *et al.*, 2014:162-163; Pigliucci, 2009: 223).

En esta extensión de la síntesis, también se aceptó la propuesta de la selección multinivel (genes, células, organismos, grupos de organismos y especies), los patrones discontinuos del registro fósil, aspectos del desarrollo y la relación entre genotipo y fenotipo (Folguera y González-Galli, 2012: 7 - 8).

Los mecanismos propuestos en la expansión de la síntesis pueden alterar los procesos evolutivos y por ello es importante su estudio para aportar mayores evidencias de su ocurrencia. Además se consideran complementarios a los mecanismos propuestos en la síntesis moderna (Laland *et al.*, 2014:164).

Finalmente, la inclusión de los nuevos mecanismos no significa un cambio de paradigma kuniano, en realidad se habla de una expansión de los conocimientos fundamentales de la biología evolutiva.

1.2.3.1. Herencia epigenética

La epigenética explica cómo se forman los fenotipos a través de procesos como metilaciones en el DNA, modificaciones en la estructura y la condensación de la cromatina e histonas, (Bossdorf, O., Richards, C. y Pigliucci, M. 2008: 106), así

como complejos represivos que impiden o modifican la actividad transcripcional y por lo tanto, la expresión genética y no la secuencia del DNA (García et al., 2012: 61; Laland *et al.*, 2015: 4; Laland *et al.*, 2014: 162-164; Pigliucci, 2009: 224-226).

Estos procesos son capaces de producir variación epigenética dentro de las poblaciones. Es decir, variación en la expresión de la información genética de los individuos relacionada con las condiciones variables del ambiente (Hernández-Marroquín, 2011: 84-85; Bossdorf *et al.*, 2008: 106).

Además, propone que los cambios inducidos por el ambiente pueden generar variación epigenética heredable a las siguientes generaciones (Bossdorf *et al.*, 2008: 107, 111; Pigliucci, 2009: 226).

La plasticidad fenotípica es un fenómeno que puede producir variación epigenética y se define como la capacidad que tienen algunos organismos de expresar diferentes fenotipos dependiendo de las variaciones que se presenten en el ambiente (Agrawal, 2001: 321; Laland *et al.*, 2015: 3-4; Whitman y Agrawal, 2009: 5).

La importancia evolutiva de la plasticidad fenotípica, radica en que es considerada una de las fuentes de variación fenotípica más relevantes. Y se infiere que puede ser materia prima para la selección natural (Whitman y Agrawal, 2009: 23; Bossdorf *et al.*, 2008: 108). Además, propicia que los organismos puedan invadir nuevos hábitats y contribuye con los procesos de especiación (Agrawal, 2001: 321, 324; Bossdorf *et al.*, 2008: 108; Laland *et al.*, 2015: 3-4).

Los cambios epigenéticos pueden ser heredados de generación en generación entre células e individuos. Es decir, es un mecanismo en el que la influencia del ambiente provoca cambios en el organismo que pueden ser heredados a la descendencia (García *et al.*, 2012: 64, 67; Laland *et al.*, 2015: 4).

La epigenética es un programa de investigación, que se centra en el estudio de los efectos del ambiente sobre el desarrollo de los organismos. Por lo que, sostiene que no solo existe herencia mendeliana, sino que hay modificaciones fenotípicas

(epigenéticas) que son heredadas a la descendencia (Folguera y González-Galli, 2012: 9 -10).

1.2.3.2. Evo-Devo

La *evo-devo* es una disciplina que integra a la biología del desarrollo⁸ y a la teoría evolutiva (García, 2005: 112-113) con el objetivo de estudiar la evolución los patrones del desarrollo para explicar su modificación en el transcurso del proceso evolutivo (García, 2005: 112, 118-119; Laland *et al.*, 2015: 3).

Los objetivos fundamentales de esta disciplina son: a) estudiar la evolución del desarrollo al comparar características a diferentes niveles de organización biológica (García, 2005: 113-114, 117; Laland *et al.*, 2015: 3), b) establecer homologías a partir de patrones de expresión génica, c) desarrollar un mapa genotipo-fenotipo que refleje las diferencias del desarrollo entre diferentes especies, para entender el proceso de adaptación (García, 2005: 117), d) determinar si los patrones del desarrollo en el embrión tienen influencia en la diversificación evolutiva (García, 2005: 117) y e) realizar investigaciones que den cuenta de los proceso del desarrollo que dan origen a nuevos rasgos y a innovaciones evolutivas (García, 2005: 118-119).

“El principio fundamental de la biología del desarrollo evolutiva es que la evolución ocurre a través de cambios heredables en el desarrollo del organismo que se manifiestan generalmente como cambios en la expresión genética del desarrollo orgánico” (García, 2005: 120).

⁸ Estudia las interacciones ontogenéticas, que son las responsables de la transformación de una célula en un organismo adulto (García, 2005: 119)

Familia de modelos evolutivos					
Teoría	Mecanismo o fuerza evolutiva dominante	Hecho o fenómeno evolutivo	Evidencias	Autores	Año
Darwiniana	Selección natural	Adaptación Diversidad biológica	Registro fósil Anatomía comparada Embriología	Charles Darwin	1859
Sintética	Selección natural	Adaptación Diversidad biológica	Registro fósil Anatomía comparada Embriología Patrones de distribución geográfica Homología molecular Selección natural en acción	Dobzhansky Mayr Simpson Huxley Stebbins	1947
	Flujo génico	Especiación	Patrones de distribución geográfica		

Síntesis exten- dida	Deriva génica	Diversidad biológica Especiación	Fósiles vivientes	Eldrege y Gould	1968	
		Diversidad molecular Mutaciones neutras	Polimorfismo proteico	Kimura y Ohta	1983 1971 1977	
	Herencia epigenética	Marcas epigenética	Metilaciones en el DNA. Modificaciones y condensación de la cromatina	Herencia epigenética gestacional	Barker <i>et al.</i>	1993
		Plasticidad fenotípica	Variación epigenética (fenotípica) Especiación	Plasticidad fenotípica en renacuajos de <i>Rana sylvetica</i>	Gilbert	2005
EVO-DEVO	Interacciones ontogenéticas	Patrones ontogenéticos Patrones de expresión génica	Genes homeóticos (PAX 6 y Hox) Complejos homeóticos	Walter Gehring y Matt Scot	1984 1985	

Tabla 1. Se muestra un resumen de la teoría evolutiva y de los diferentes mecanismos evolutivos a partir de la relación entre el hecho, la teoría y la evidencia.

1.3. Evidencias de la evolución biológica

Disciplinas biológicas como la biología molecular, la embriología, la morfología, la paleontología y la biogeografía, han aportado evidencias a favor de la evolución biológica de las especies.

La biología molecular mostró con estudios teóricos y experimentales que todos los seres vivos desde las bacterias hasta los organismos multicelulares tienen las mismas rutas metabólicas (Coney, 2010: 27; Freeman y Herron, 2002: 24; González, 2009: 39-40; Kargong, 2005: 86), en la mayoría de los organismos la molécula que transmite la información generación tras generación es el DNA, todos los seres vivos comparten el mismo código genético de cuatro letras (Adenina (A) guanina (G), citosina (C) y timina (T)), las enzimas que replican y reparan el material hereditario, así como el sistema que traduce el mensaje codificado en el DNA a proteínas, son comunes en todos los seres vivos (Coney, 2010: 27; González, 2009: 40; Kargong, 2005: 86) y la mayoría de los organismos utilizan los mismos codones para especificar a los mismos RNA de transferencia (Freeman y Herron, 2002: 24).

La embriología mostró que los grupos de animales relacionados evolutivamente, presentan rasgos comunes en las primeras etapas del desarrollo embrionario (Jiménez *et al.*, 2007: 5; Kargong, 2005: 90). Las semejanzas en los embriones se deben a que comparten un mismo ancestro común y a la similitud en los genes que codifican para dichas estructuras (Freeman y Herron, 2002: 24).

La morfología comparada proporcionó tres tipos de patrones para los estudios de las estructuras óseas y los órganos de las diferentes especies. Las homogenias son características anatómicas similares, que se encuentran entre diferentes especies que comparten un mismo ancestro común y son resultado de una evolución paralela. Las estructuras vestigiales son homólogas a una estructura que cumplió una función importante en un antepasado remoto. Estas estructuras fueron importantes en el ancestro y las heredó a especies relacionadas casi en el mismo estado. Las homoplasias son características anatómicas similares que desempeñan

la misma función en diferentes especies que no comparten un ancestro común, estas características son resultado de evolución convergente.

Con base en el estudio de los fósiles, la paleontología ha reconstruido la historia evolutiva de las especies, mostrando que se modifican a lo largo del tiempo. Además, construye un registro fósil que proporciona datos que indican el surgimiento y la extinción de las especies en un determinado tiempo, así como especies intermedias entre grupos de organismos.

Estudios de biogeografía muestran que los patrones de distribución geográfica de floras y faunas de diversas partes del planeta evidencian la existencia de especies íntimamente relacionadas, el surgimiento de nuevas especies, la ancestría común y la descendencia con modificación.

Las evidencias de la evolución biológica consisten fundamentalmente en afirmar que existe un origen común entre todos los seres vivos y que el origen de nuevas especies se produce a partir de especies ancestrales (Dawkins, 2009:232; González, 2009: 39-47). Estos argumentos muestran que en la historia de los seres vivos se ha generado el cambio y la diversificación de las especies a partir de un ancestro común (González, 2009:39-47). Uno de los procesos que ha generado el cambio es la selección natural y es el único proceso evolutivo que promueve la adaptación de las especies al medio en el que viven (González, 2009:39-47; Ruiz y Ayala, 2008:467-469).

1.4. Diferencia entre: hecho, teoría y evidencia

Una de las definiciones propone que la ciencia es un cuerpo de conocimientos y al mismo tiempo una actividad humana (González-Galli, 2010a: 82; Mayr, 1998: 40) que busca la organización sistemática del conocimiento del universo. La ciencia realiza afirmaciones acerca de fenómenos observables en el mundo natural, formula leyes, teorías generales y explicaciones para dichos fenómenos, identificando las causas que hacen posible su ocurrencia (Dobzhansky *et al.*, 1980: 472, 474;

Futuyma, 2009: 612; McNeill y Krajcik, 2008: 121; Monroe, 2000: 17; Ruiz y Ayala, 1998: 8, 12-13).

Los fenómenos naturales pueden ser explicados a partir de modelos teóricos validados por la comunidad científica y es importante tener evidencias que respalden los argumentos de la teoría y al mismo tiempo confirmen la existencia del fenómeno que se está estudiando.

En la enseñanza y en el aprendizaje de los contenidos científicos pocas veces se realiza la diferenciación y la relación de estos conceptos. Las causas pueden ser diversas y en el caso de la educación media superior no se especifica en los planes y en los programas de estudio de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades como una situación o un objetivo de aprendizaje.

Por lo tanto, es deseable que en la enseñanza y en el aprendizaje de los contenidos científicos se enfatice la diferencia en el significado de estos conceptos para que los alumnos, los docentes, los investigadores, los diseñadores de recursos didácticos, los divulgadores científicos y el público en general eviten malas interpretaciones de conceptos que son fundamentales o hagan uso del significado coloquial que tienen.

A continuación, se plantea la importancia y el significado de cada concepto en el contexto científico:

Un hecho científico, es un proceso que ocurre en el mundo natural, el cual puede ser observado y verificado (Ayala, 2011: 33-35; Dawkins, 2009: 26; Futuyma, 2009: 613; Gould, 2004: 102; Jiménez *et al.*, 2007: 4; Quesada, 2007: 15) para su posterior formulación como modelo teórico de interpretación (Fourez, 1994 citado en González-Galli, 2010: 79).

Los hechos científicos existen antes de la construcción de la teoría que los explica, son invariantes respecto de otras explicaciones y son fundamentales para la posterior formulación de hipótesis. Así mismo, son la base estructural del conocimiento teórico – científico (Bakker y Clark, 1994: 285; Díaz, 2009: 93; Díaz, Calzadilla y López, 2004: 5-7; Jiménez *et al.*, 2007: 4-5) y al mismo tiempo sirven

como criterio de comprobación o refutación de la teoría (Díaz, 2009: 93; Díaz et al., 2004: 5-7; Chalmers, 2000 citado en González-Galli, 2010a: 79).

Una teoría científica no es una idea que surge en un momento fortuito o una especulación y mucho menos una creencia sin fundamento (Bakker y Clark, 1994:17; Futuyma, 2009:14), por el contrario, es un planteamiento lógico que incluye conceptos y proposiciones (Criado, 1984: 15; Gould, 2004: 102) el cual, describe, explica e interpreta los procesos que ocurren en la naturaleza (González-Galli, 2010b: 227; Gould, 2004: 102) a partir de metodologías que le dan un grado de certeza. Es decir, son explicaciones provisionales sobre los fenómenos naturales, las cuales han sido demostradas y confrontadas con los hechos y están en espera de nuevas confirmaciones o de su refutación (Chuang, 2003: 673; Coney, 2010: 39-40; Dawkins, 2009: 22-23, 139; Futuyma, 2009: 612-613; Jiménez *et al.*, 2007: 2; Quammen, 2004: 6; Ruiz y Ayala, 1998: 12-13, 19; Sanders y Ngxola, 2009: 121).

Una evidencia científica es una observación empírica relacionada con el fenómeno natural que se está estudiando (Kuhn y Pearsall, 2000: 116). La evidencia científica debe ser exacta, adecuada y suficiente, ya que aporta información a la explicación (teoría científica) del fenómeno o hecho científico (McNeill y Krajcik, 2008: 134). Es decir, la evidencia científica respalda los argumentos de la explicación y confirma los hechos observados del fenómeno natural (hecho científico) (Kuhn y Pearsall, 2000: 117-118).

Capítulo II. Marco teórico de pedagogía y didáctica

2.1. Referente teórico del constructivismo

En la literatura se afirma que la educación escolar tiene una naturaleza social, ya que el estudiante aprende en interacción con otros individuos sociales; como los profesores que tienen la intención de enseñar y los estudiantes de aprender los contenidos que fueron construidos socialmente (Campos, 1989: 18-35; Monrroy Farías, 2009: 158-160, 166).

Y al mismo tiempo, tiene una función socializadora que se refiere al fin último de insertar a la sociedad a ciudadanos funcionales que cumplan con las normativas (Paín, 1984: 9-10), sean críticos, analíticos, informados y capaces de solucionar problemáticas.

La finalidad de la educación es alfabetizar a los ciudadanos. Es decir, dotarlos de habilidades que les permita aprender y comprender los contenidos, así como darles significado y funcionalidad a los mismos.

Para lograrlo se recurre a varias propuestas psicopedagógicas que interpretan y explican los procesos de enseñanza y aprendizaje. Además, permiten desarrollar y evaluar estrategias didácticas de los contenidos. Entre las propuestas destaca el modelo conductista⁹, el cognocitivist¹⁰, el humanista¹¹ y el constructivista.

Durante mucho tiempo las actividades principales en la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos curriculares fueron la emisión y la recepción, así como la memorización y la repetición de los contenidos (Moreira, Caballero y Rodríguez, 1997: 2). En la actualidad, se propone y se ejecuta la propuesta constructivista, la

⁹ También llamado modelo conductual, que mediante el paradigma de estímulo-respuesta-estímulo, se espera modificar conductas indeseables y enfatizar y mantener conductas deseables (Monrroy-Farías, 2009:87).

¹⁰ La psicología cognitiva postula la formación y transformación de estrategias, habilidades y procesos del pensamiento mediante la construcción de aprendizajes significativos (Monrroy-Farías, 2009:87).

¹¹ La psicología humanista busca el desarrollo individual y autónomo de los individuos con el objetivo de que aprendan a aprender y alcancen la madurez emocional (Monrroy-Farías, 2009:87).

cual integra diferentes teorías que explican cómo el alumno construye el conocimiento a partir de la relación entre los procesos cognitivos y los sociales. Así como la construcción, deconstrucción y re-construcción de los nuevos conocimientos (Díaz-Barriga y Hernández, [1997] 2010: 23). Con el objetivo de que los alumnos le den significado y comprendan los contenidos (Moreira, Caballero y Rodríguez, 1997: 2).

En esta tesis el diseño del marco teórico del constructivismo se fundamentó en la teoría genética del desarrollo de Jean Piaget (1896-1980) [a partir de las estructuras mentales], en la teoría del aprendizaje verbal significativo de David Ausbel (1918-2008) [entendido como un aprendizaje que es importante y relevante para el individuo, ya que entiende el contenido y lo utiliza en diferentes contextos] y en la teoría sociocultural del desarrollo y el aprendizaje de Lev Semiónovich Vigotsky (1896-1934) [en términos del proceso de enseñanza y aprendizaje como un fenómeno social]. Esta selección de teorías se realizó considerando su importancia, los estudios realizados, los impactos y sus implicaciones para la educación.

Referentes teóricos del constructivismo

Teoría	Genética del desarrollo	Aprendizaje verbal significativo	Sociocultural del desarrollo y el aprendizaje
Autor	Jean Piaget	David Ausbel	Lev Vigotsky
Aprendizaje	Es un proceso individual (Calero, 2008: 43). Se aprende por descubrimiento.	Definido a partir de los conocimientos previos y la significación del sujeto (Calero, 2008: 163; Viera, 2003: 39-40).	Es un proceso de interacción social (Calero, 2008: 79-80, 82, 95; Flores, 2005: 19-20, 75-76).
Contenido		Potencialmente significativo y contextualizado relacionado con los	Es un producto de la interacción de la sociedad y la cultura (Chadwick, 2001: 13).

		conocimientos previos y la vida diaria del alumno (Calero, 2008: 132, 163; Viera, 2003: 42-43).	
Alumno	Principal personaje en el proceso de enseñanza y aprendizaje (Calero, 2008: 21,68)	Autónomo en la construcción del conocimiento (Calero, 2008: 110, 122-123, 163).	
Motivación	Está conectada con la estructura cognitiva.	Se debe considerar en el proceso de aprendizaje del alumno (Calero, 2008: 122, 165; Viera, 2003: 38).	Existe una relación afectiva entre el individuo y su entorno (Viera, 2003: 38).
Ideas previas	Son importantes para construir el conocimiento (Calero, 2008: 21, 69). A partir de los conocimientos previos la nueva información cobra significado (Giordan, 1995: 2).	Son importantes y se articulan con los conocimientos nuevos (Calero, 2008: 123, 125, 136, 165; Giordan, 1995: 2; Viera, 2003:38, 40-41)	Son fundamentales en el proceso de construcción de los aprendizajes (Calero, 2008: 114).

Profesor	Es un organizador y facilitador de los aprendizajes (Calero: 2008: 67).	Es un organizador y guía de los aprendizajes (Calero, 2008: 165; Viera, 2003: 42).	Es el organizador de los aprendizajes (Calero, 2008: 87). Además, es modelo y guía (Calero, 2008: 84, 110).
Innovaciones	Considera diferentes estilos y ritmos de aprendizaje (Calero, 2008: 21). Procesos de asimilación y acomodación de los aprendizajes (Giordan, 1995: 2).	Utiliza la zona de desarrollo próximo para construir andamiajes y facilitar los aprendizajes (Calero, 2008: 87, 110; Chadwick, 2001: 114).	

Tabla 2. Principales representantes de los modelos constructivistas; sus principios y concepciones en relación con el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Aunque cada teoría se fundamenta y enfatiza principios específicos, todas convergen en los siguientes principios:

El alumno es un sujeto activo y responsable de su propio aprendizaje (Chadwick, 2001: 112; Díaz-Barriga y Hernández, [1997] 2010: 27; Monroy-Farías, 2009: 161)

La actividad mental de los alumnos se aplica a contenidos que están contruidos previamente (Díaz-Barriga y Hernández, [1997] 2010: 27; Monroy-Farías, 2009: 160).

El aprendizaje es una actividad social que está situada, contextualizada y es significativa para el estudiante (Chadwick, 2001:112; Monroy-Farías, 2009: 158-160, 166)

En el proceso de enseñanza, el profesor es un mediador que crea condiciones, orienta y guía al estudiante para que construya su conocimiento (Chadwick, 2001: 112; Díaz-Barriga y Hernández, [1997] 2010: 27).

En síntesis, el modelo constructivista propone que los estudiantes son los responsables de su proceso de aprendizaje, el cual construyen de manera activa y en interacción con otros sujetos a partir de conocimientos que fueron elaborados anteriormente¹². En otras palabras, el alumno aprende en interacción con el profesor y ambos están convocados por ciertos contenidos, guiados por fines y propósitos dentro de un contexto escolar específico.

2.2. Obstáculos epistemológicos

En el contexto escolar los estudiantes recurren a concepciones que son alternativas a los modelos científicos para explicar diferentes fenómenos sobre el mundo. (Pérez y González-Galli, 2016: 482). Estas concepciones se construyen de forma individual

¹² En el caso de la enseñanza de la ciencia, Alvarez-Pérez (2015) menciona que los estudiantes construyen su aprendizaje a partir de conocimientos que fueron validados por la comunidad científica.

a partir de la experiencia cotidiana y en la convivencia con otros individuos se reconstruyen o se reafirman.

En el contexto de la ciencia estas concepciones son consideradas erróneas¹³, ya que compiten con los contenidos científicos a enseñar (González-Galli, 2016: 496; González-Galli y Meinardi, 2016: 463; Pérez y González-Galli, 2016: 482; Pozo y Gómez-Crespo, [1998] 2006: 286-287). Es decir, entre el conocimiento no erudito y el científico existen diferencias en el lenguaje, en los métodos de investigación, en la naturaleza y en la construcción del conocimiento (Pozo y Gómez-Crespo, [1998] 2006: 136).

La propuesta de cambio conceptual¹⁴ recurre al enfoque de conflicto cognitivo para reemplazar las concepciones alternativas por conceptos cercanos a los conocimientos validados por la comunidad científica (González-Galli, 2016: 496; González-Galli y Meinardi, 2016: 463; Pérez y González-Galli, 2016: 482; Pozo y Gómez-Crespo, [1998] 2006: 286-287).

Sin embargo, investigaciones en didáctica de la ciencia muestran que su implementación no propicia una mejor enseñanza y aprendizaje de los contenidos científicos. Esto se debe a que aún después de la instrucción, con el enfoque de cambio conceptual, las concepciones alternativas persisten en los alumnos

¹³ Debido a que los estudiantes logran explicar diferentes fenómenos a partir de las concepciones alternativas, estas pueden tener un grado de validez en ciertos contextos específicos (Pérez y González-Galli, 2016: 482).

¹⁴ El modelo de cambio conceptual se fundamenta en la propuesta de la estructura de las revoluciones científicas de Thomas S. Kuhn. Este autor menciona que en el desarrollo científico ocurren cambios teóricos y metodológicos que revolucionan la visión de la ciencia (Pérez-Ransanz, 2000: 23).

Para Kuhn existen paradigmas o programas de investigación vigentes que presentan anomalías. La ineficacia y la posterior corrección del paradigma de investigación entra en una crisis, que se caracteriza por proponer explicaciones alternativas más eficaces (Pérez-Ransanz, 2000: 31). Las nuevas teorías propuestas es lo que Kuhn llama revoluciones científicas, las cuales entran en una nueva etapa de programas de investigación vigentes o de ciencia normal (Pérez-Ransanz, 2000: 32-33)

La secuencia de las revoluciones científicas se puede repetir varias veces y tiene una estructura general que se caracteriza por: un periodo de ciencia normal, surge una crisis, se da la revolución y el cambio de paradigma, finalmente se establece nuevamente la ciencia normal (Pérez-Ransanz, 2000: 33).

En síntesis, después de una crisis en la construcción del conocimiento científico, siempre existe un cambio de paradigma (Pérez-Ransanz, 2000: 23, 32-33). Las ideas Kuhn en el contexto del cambio conceptual significan que ante una crisis cognitiva se esperaría que el estudiante cambie sus modos de pensar respecto de un tema en particular (González-Galli y Meinardi, 2016: 464).

(González-Galli y Meinardi, 2016: 464, 470; Pérez y González-Galli, 2016: 482; Pozo y Gómez-Crespo, [1998] 2006: 85).

Además, se observó que las concepciones alternativas son semejantes entre diferentes sujetos y en diferentes contextos (Pérez y González-Galli, 2016: 482). Ante este panorama, González-Galli, Revel-Chion y Meinardi (2008), González-Galli y Meinardi (2009) (2010), propusieron que diferentes concepciones alternativas dan cuenta de esquemas de pensamiento específicos, es decir, de obstáculos epistemológicos (OE)¹⁵.

Los OE, tienen tres características fundamentales: a) transversalidad, permiten generar explicaciones en diferentes áreas de conocimiento; b) funcionalidad, permiten a los sujetos dar explicaciones sobre los fenómenos naturales y c) conflictividad, son formas de pensar que compiten con los modelos teóricos a enseñar (González-Galli, 2016: 496; González-Galli y Meinardi, 2016: 465; Pérez y González-Galli, 2016: 482; González-Galli y Meinardi, 2015: 104; González-Galli y Meinardi, 2011: 534-535 González-Galli y Meinardi, 2010: 1).

En el caso particular de la biología evolutiva González-Galli y Meinardi (2010, 2011, 2015, 2016) reportaron que existen al menos tres obstáculos epistemológicos relacionados con la evolución adaptativa, a los que denominaron:

Teleología de sentido común (TSC): *Consiste en suponer que todo cuanto existe o sucede en la naturaleza es para alcanzar algún fin predeterminado* (González-Galli, 2016: 496; González-Galli y Meinardi, 2016: 469, 47, González-Galli, 2015: 113-116; González-Galli y Meinardi, 2011: 535; González-Galli, 2010: 1).

Razonamiento centrado en el individuo (RCI): *Supone que todos los cambios y procesos biológicos tienen lugar a nivel individual* (González-Galli y Meinardi, 2016:

¹⁵ El concepto de obstáculo epistemológico, propuesto por Gaston Bachelard, hace referencia a que en la historia de la ciencia han existido formas de pensar que obstaculizan el progreso del conocimiento científico (González-Galli y Meinardi, 2016: 465; Blanco y Díaz de Bustamante, 2014: 37). Por lo tanto, se consideran formas de pensar recurrentes y difíciles de erradicar (González-Galli, 2016: 496, 497; González-Galli y Meinardi, 2016: 465).

469, 472; González-Galli, 2015: 113-116; González-Galli y Meinardi, 2011: 535; González-Galli, 2010: 1).

Razonamiento causal lineal (RCL): *Todo fenómeno se explica por una causa única e inmediata que lo precede* (González-Galli y Meinardi, 2016: 469, 472; González-Galli, 2015: 113-116, González-Galli y Meinardi, 2011: 535; González-Galli, 2010: 1).

Las propuestas didácticas, enmarcadas en el cambio conceptual no consideran las características de los obstáculos epistemológicos y en consecuencia, no se observan cambios en el aprendizaje de los estudiantes. Esto se explica con la metáfora del iceberg propuesta por Astolfi (1988). Es decir, en la parte superior se encuentran las diferentes concepciones alternativas, que son explícitas; mientras que en la parte inferior, se encuentran los obstáculos epistemológicos que no se pueden ver, incluso el individuo que los presenta ignora que los tiene. Por lo tanto, varias concepciones alternativas pueden dar cuenta de un mismo obstáculo epistemológico y varios obstáculos pueden dar cuenta de una misma concepción alternativa (González-Galli y Meinardi, 2016: 466).

En otras palabras, las propuestas de cambio conceptual se centran en el trabajo didáctico de las concepciones alternativas en lugar de trabajar con los obstáculos epistemológicos. Es por esta razón que aún después de la instrucción los alumnos recurren a concepciones alternativas para explicar los fenómenos naturales.

Este patrón es recurrente en los estudiantes ya que los obstáculos epistemológicos nunca desaparecen debido a sus características particulares como la transversalidad, la funcionalidad y la conflictividad (González-Galli y Meinardi, 2016: 470; González-Galli y Meinardi, 2015:104; González-Galli y Meinardi, 2010: 1).

Por lo tanto, es deseable tenerlos en cuenta en el diseño de secuencias didácticas puesto que pueden propiciar la comprensión de los conceptos fundamentales de un contenido en general y del modelo de evolución por variación y selección natural en particular. En consecuencia, se espera obtener mejores resultados en la enseñanza

y el aprendizaje de los contenidos evolutivos (González-Galli y Meinardi, 2015: 117, González-Galli y Meinardi, 2011: 535).

Finalmente, se espera que el diseño de propuestas que tomen como referencia a los obstáculos epistemológicos¹⁶ favorezcan la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos científicos y propicien que los estudiantes cambien sus marcos referenciales y desarrollen pensamiento científico.

2.3. Argumentación científica escolar

Desde comienzos de 2000, diferentes autores como Driver, Newton y Osborne, (2010), Jiménez-Aleixandre (2010), Jiménez-Aleixandre y Díaz de Bustamante (2003), Osborne, Erduran y Simon (2004), entre otros, han estudiado la función, el significado, la importancia y los procedimientos de la argumentación en las aulas de ciencia.

En la literatura se menciona que la argumentación tiene dos funciones, una lógica y una dialéctica. La primera, considera que la argumentación es una herramienta epistémica que permite construir el conocimiento (Ruiz, Tamayo y Márquez, 2013: 34; Molina, 2012: 553, 556, 559). La segunda función, considera a la argumentación como una herramienta didáctica que favorece el aprendizaje de los contenidos y el desarrollo de pensamiento crítico (Molina, 2012: 553, 559).

Aunque en la literatura existen diferentes definiciones para la palabra argumentación, algunos autores consideraron indispensable hacer precisiones de su significado en el contexto de la ciencia.

¹⁶ El trabajo didáctico de los obstáculos epistemológicos se realiza a partir de tres componentes principales: a) Desestabilización del obstáculo, el alumno se da cuenta que el obstáculo tiene limitaciones y no le permite explicar algunos fenómenos. b) Reconstrucción conceptual, el alumno es capaz de construir otra explicación al fenómeno, la cual es mejor que la explicación fundamentada en los obstáculos epistemológicos (González-Galli y Meinardi, 2016: 466-467). c) Identificación del obstáculo, el alumno tiene la capacidad de reconocer el obstáculo epistemológico en sus explicaciones. Es decir, se desarrolla la habilidad metacognitiva al reconocer y regular el obstáculo (González-Galli, 2016: 501; González-Galli y Meinardi, 2016: 466-467).

Jiménez-Aleixandre (2010) la definió como la capacidad de manejar y evaluar enunciados con base en pruebas. Larrain y Freire (2012) mencionan que es un discurso acompañado de una justificación que tiene el objetivo de defender una idea. Investigaciones actuales (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014; Revel-Chion, Meinardi y Adúriz-Bravo, 2014; Revel-Chion, Erduran, Fúrman, Iglesias y Adúriz-Bravo, 2005) proponen un modelo de argumentación científica escolar, en el que definen a la argumentación como un “procedimiento cognitivo-lingüístico que da lugar a la producción de un texto que explica” un fenómeno natural a partir de modelos teóricos de referencia (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 113, 118; Revel-Chion *et al.*, 2014: 987-988; Revel-Chion *et al.*, 2005: 1-2).

La argumentación tiene un papel central en el quehacer científico, puesto que los avances de la ciencia se realizan a partir de investigaciones que posteriormente son comunicadas de forma oral y escrita. Y al mismo tiempo, los resultados de dichas investigaciones entran en disputa con otras (Eder y Adúriz-Bravo, 2008:128; Revel-Chion *et al.*, 2014: 988-989, 997; Ruiz *et al.*, 2013: 30, 33; Driver *et al.*, 2010: 217). Estas dos actividades son características del quehacer científico.

Si los planes y los programas de estudio demandan la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos científicos (teóricos, prácticos y actitudinales). Se asume que la enseñanza y el aprendizaje de la argumentación, en las clases de ciencia, es una finalidad fundamental de la educación para el aprendizaje de los contenidos científicos (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 114, 116-117; Revel-Chion *et al.*, 2014: 997; Revel-Chion *et al.*, 2005: 2). Ya que el objetivo de la ciencia escolar es que los estudiantes expliquen los fenómenos que suceden en el mundo a partir de modelos teóricos y los comuniquen (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 114, 116-117); puesto que el lenguaje es un elemento central en la actividad, la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 118).

Para lograr que los estudiantes desarrollen la competencia argumentativa, es indispensable y fundamental que aprendan a producir textos explicativos a partir de experiencias de aprendizaje diseñadas, tanto para aprender contenidos científicos como contenidos para desarrollar la habilidad argumentativa (Revel-Chion y Adúriz-

Bravo, 2014: 114, 119-120; Revel-Chion *et al.*, 2014: 99; Sardá y Sanmartí, 2010: 407).

Elaborar una explicación exige que los estudiantes integren elementos de los conocimientos previos con los nuevos, ordenen ideas, analicen evidencias, identifiquen y analicen relaciones entre los conceptos (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 117-118). Además, demanda que conozcan el contenido científico conceptual y práctico, así como los métodos argumentativos (Revel-Chion *et al.*, 2014: 988-989; Larrain y Freirre, 2012: 133; Molina, 2012: 558-559).

De acuerdo con Revel-Chion *et al.* (2005); Adúriz-Bravo (2012); Revel-Chion y Adúriz-Bravo (2014); Revel-Chion *et al.* (2014), en un texto explicativo se deben reconocer cuatro componentes:

- a) Teórico: Toda explicación requiere de un modelo teórico de referencia que será fundamental en el proceso explicativo.
- b) Lógico: Se elabora un texto explicativo complejo en el que se incluyen relaciones con los conectores adecuados.
- c) Pragmático: Toda argumentación se establece a partir de un contexto particular.
- d) Retórico: Tiene el objetivo de convencer al interlocutor y cambiar su forma de pensar respecto de un conocimiento determinado.

Los autores del modelo de argumentación científica escolar no consideran a las evidencias como un componente del texto explicativo, pero sí un elemento importante en la producción del mismo (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 114, 117). Por lo tanto, considerando la importancia de las evidencias en las explicaciones científicas (Acosta-Pérez, 2014: 23, 71; Molina, 2012: 555-556, 560) y los objetivos de esta investigación, se consideró fundamental incluirlas como un componente más del texto explicativo y se definió de la siguiente manera:

- e) Evidencia: Se utilizan evidencias para confirmar el fenómeno estudiado y para respaldar los argumentos del modelo que lo explica (Acosta-Pérez, 2014: 23-24).

La enseñanza y el aprendizaje de la argumentación, es importante para la alfabetización científica, ya que favorece el aprendizaje, la comprensión y el uso de los contenidos científicos escolares y el desarrollo de pensamiento científico (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 117, 120; Revel-Chion *et al.*, 2014: 990, 994; Ruiz *et al.*, 2013: 34; Larrain y Freire, 2012: 136; Molina, 2012: 554-555; Driver *et al.*, 2010: 217; Revel-Chion *et al.*, 2005: 1; Sardá y Sanmartí, 2000: 407). En otras palabras, mientras el alumno elabora textos explicativos estará relacionando el conocimiento previo con el contenido que se está trabajando en la clase, aprenderá a identificar y analizar relaciones entre los contenidos, ordenará ideas y analizará evidencias para poder explicar diferentes fenómenos y comunicarlos (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 117).

Además, permite que los estudiantes conozcan los procedimientos científicos (Revel-Chion *et al.*, 2014: 989; Molina, 2012: 557), favorece el desarrollo de habilidades comunicativas, auto-regulatorias y metacognitivas (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 114, 117-118; Molina, 2012: 557).

Si se incluye la habilidad argumentativa en la enseñanza y el aprendizaje de todos los contenidos del programa de estudios, el alumno podrá darse cuenta del contenido que aprendió, no memorizar los conceptos; en su lugar, interpretará, analizará, proporcionará explicaciones y las comunicará de forma correcta.

Finalmente, el profesor tendrá acceso a los modos de pensar de los alumnos, identificará si los estudiantes aprendieron los contenidos, por medio de los textos explicativos, y realizará mejores evaluaciones de los contenidos enseñados en la clase de ciencia (Revel-Chion *et al.*, 2014: 990; Ruíz *et al.*, 2013: 45).

Capítulo III. Marco teórico de didáctica de biología evolutiva

3.1. Modelo a enseñar: evolución por variación y selección natural (MEVSEN)

El modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSEN) explica la adaptación de las especies al medio en el que viven a partir de la selección natural de variaciones favorables para la supervivencia y la reproducción. Además, explica cómo a partir de especies ancestrales se originan nuevas especies que presentan nuevas y variadas formas de adaptación (Folguera y González-Galli, 2012: 7, 11; Slingsby, 2013: 99; Zabel y Gropengiesser, 2011: 145).

Esta explicación es considerada por la comunidad científica como uno de los paradigmas de la biología, ya que integra conceptos fundamentales de la biología evolutiva y cuenta con evidencias contundentes que confirman la evolución de los seres vivos a través del tiempo (Pigliucci, 2009: 219-220). Además, integra a la biología como una ciencia única y distinta a las demás. Por estas razones el MEVSEN es el modelo científico, por excelencia, de la biología evolutiva que forma parte de los contenidos escolares.

El modelo teórico propuesto por Charles Darwin (1809-1882) en 1859 define a la selección natural como la preservación de las características favorables y la eliminación de las características perjudiciales (Darwin, 2009 (1859): 84). Es decir, es la supervivencia y la reproducción diferencial en las poblaciones y se explica a partir de cinco postulados fundamentales que se describen a continuación.

- 1) Variación en la población. En las poblaciones existe variación entre los individuos que la conforman, por lo que cada individuo presenta características únicas que lo diferencian de otros (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 67-70, 84; González-Galli, 2010b: 232-233; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008: 465-466). Las variaciones que se observan entre los individuos de la población surgen principalmente por mutación y

recombinación genética e independientemente de si serán benéficas, perjudiciales o neutras para el individuo que las porta.

- 2) Variación heredable. Una característica fundamental para que ocurra evolución en las poblaciones es que exista variación heredable (González-Galli, 2010b: 227). Por lo tanto, las variaciones que existen en la línea germinal de los individuos de una población también estarán presentes en sus descendientes (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 67-70, 84; González-Galli, 2010b: 232-233; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008: 465-466)
- 3) Gran capacidad reproductiva y estabilidad del tamaño poblacional. Los individuos tienen un gran potencial para producir crías, por lo que en cada generación nacen más individuos de los que pueden sobrevivir. Si existieran recursos ilimitados las poblaciones crecerían indefinidamente. Sin embargo, existen factores ambientales, como enfermedades, escasez de alimentos, depredadores, falta de pareja, cambios ambientales, entre otros; que regulan el tamaño poblacional. Por lo tanto, solo algunos individuos logran sobrevivir y reproducirse (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 68, 85-89, 98; González-Galli, 2010b: 233-234; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008:467-468).
- 4) Lucha por la existencia o la relación entre las variaciones para sobrevivir y reproducirse. Los factores que propician la lucha por la existencia son el crecimiento exponencial de las poblaciones y la escasez de los recursos. Bajo estas condiciones, los individuos que presentan variaciones favorables para la supervivencia y la reproducción, según el medio ambiente en el que viven, tendrán mayores probabilidades de sobrevivir, reproducirse y heredar las variaciones favorables a la siguiente generación a diferencia de los individuos que no portan la variación ventajosa (Ayala, 2011: 35-38; Darwin, 2009 (1859): 68, 85-89, 98; González-Galli, 2010b: 234-235; Mayr, 1998: 205-208; Ruiz y Ayala, 2008:467-468).
- 5) Selección natural. En el contexto de la selección natural es importante sobrevivir, pero más importante es reproducirse y heredar las variaciones

ventajosas a los descendientes. Por lo tanto, en cada generación habrá un mayor porcentaje de individuos con la variación ventajosa y un menor porcentaje de individuos con otro tipo de variación en la población (González-Galli, 2010b: 234-235).

Conjuntamente con los postulados que se explicaron anteriormente, se utilizó la propuesta de conceptos fundamentales de biología evolutiva de Alvarez Pérez (2015) para la explicación del MEVSEN en el aula.

3.2. Enfoques didácticos

El enfoque didáctico que se propuso en esta investigación como eje transversal de la secuencia didáctica fue la distinción y la articulación entre hecho, teoría y evidencia.

La diferenciación y la articulación de los conceptos anteriormente mencionados propicia en primer lugar que los estudiantes logren identificar que frecuentemente no diferencian entre el significado de uso común y el significado científico de ciertos conceptos. Al mismo tiempo, permite que aprendan a comunicarse con lenguaje científico.

Este enfoque, también favorece que los estudiantes identifiquen el problema o fenómeno que deben explicar a partir de modelos teóricos. Además de identificar y proporcionar una explicación científica, los alumnos relacionan evidencias que confirmaran la ocurrencia del fenómeno estudiado y valoran los alcances explicativos de la teoría en cuestión.

La premisa es que a partir de estas actividades, los alumnos sean capaces de proporcionar mejores explicaciones a las problemáticas que se les plantea en su trayectoria escolar y en su vida cotidiana.

Para construir el enfoque que estructura la secuencia didáctica generada en esta tesis de biología evolutiva se hizo dialogar dos enfoques didácticos: obstáculos epistemológicos y argumentación científica escolar.

El enfoque didáctico de obstáculos epistemológicos, propuesto por González-Galli (2011, 2015), señala que los alumnos ante un problema de evolución adaptativa proporcionan respuestas que están relacionadas con tres principales obstáculos epistemológicos (teleología de sentido común TSC, razonamiento causal lineal RCL y razonamiento centrado en el individuo RCI).

Estos obstáculos compiten con los modelos científicos a enseñar y suelen ser recurrentes en los esquemas de pensamiento de los estudiantes aún después de la instrucción debido a sus características particulares (transversalidad, funcionalidad y conflictividad). Por lo tanto, se decidió incluirlos en esta investigación ya que la premisa es que en la evaluación diagnóstica las respuestas de los alumnos sean mayormente relacionadas con los obstáculos epistemológicos.

Conjuntamente con el enfoque de obstáculos epistemológicos, se utilizó el enfoque didáctico de argumentación científica escolar, propuesto por Adúriz-Bravo y Revel-Chion (2014), como segundo eje transversal para el diseño de la secuencia y de los recursos didácticos que la conforman; ya que uno de los objetivos de la investigación, es que los alumnos desarrollen pensamiento científico.

De acuerdo con los autores, del modelo de argumentación científica escolar, la competencia argumentativa es central en la actividad científica. Por lo tanto, se considera fundamental en la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 118; Revel-Chion, *et al.*, 2014: 988, 997). Además, el objetivo de dicha competencia, es que los alumnos elaboren explicaciones de los fenómenos naturales a partir de modelos científicos y acudan a evidencias y relaciones entre éstas para proporcionar una explicación más robusta (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 114, 116-117; Revel-Chion, *et al.*, 2014: 988, 990).

Tomando en cuenta el modelo de investigación disciplinar a enseñar y los enfoques didácticos, se espera que después de la aplicación de la secuencia didáctica, los

estudiantes de educación media superior proporcionen mejores explicaciones a problemas científicos que se les plantee y al mismo tiempo, desarrollen habilidades del pensamiento científico como: relacionar información, analizar datos, usar evidencias, entre otras.

Enfoques didácticos

Obstáculos epistemológicos (González-Galli, 2011, 2015)	Argumentación científica escolar (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014)	Diferencia y articulación de hecho, teoría y evidencia. (Acosta-Pérez, 2014)
Los fenómenos naturales se explican a partir de obstáculos epistemológicos o de ideas cercanas a los modelos científicos.	Los fenómenos naturales se explican a partir de modelos teóricos.	Es importante identificar el fenómeno y explicarlo a partir de modelos teóricos.
Los obstáculos epistemológicos compiten con los modelos teóricos en la construcción de explicaciones científicas.	Los modelos teóricos que han sido validados por la comunidad científica son importantes para la construcción de explicaciones	Los modelos teóricos interpretan y explican los fenómenos naturales y son explicaciones que tienen un alto grado de certeza. Por lo tanto, son fundamentales en la construcción de explicaciones científicas.
	El uso de evidencias es importante en la construcción de explicaciones científicas.	Las evidencias son un elemento fundamental en las explicaciones científicas, ya que confirman el fenómeno natural y validan los postulados del modelo teórico que lo explica.
Son pensamientos implícitos que el individuo que los presenta ignora que los tiene.	Favorece el desarrollo de habilidades metacognitivas y autoregulatorias.	Favorece el desarrollo de pensamiento científico.

Tabla 3. Se sintetizan los enfoques de obstáculos epistemológicos y de argumentación científica escolar, que permitieron construir el enfoque de investigación e intervención nombrado: “Diferencia y articulación entre hecho, teoría y evidencia” y que sirvió para el diseño de la secuencia didáctica de biología evolutiva de esta investigación.

A partir de los elementos principales de cada enfoque, el diálogo entre estos y las recientes investigaciones en didáctica de las ciencias (Adúriz-Bravo, 2017), se puede anticipar que el enfoque didáctico de modelización científica escolar también se puede hacer dialogar con los enfoques de obstáculos epistemológicos y de argumentación científica escolar para robustecer el poder explicativo del enfoque de diferencia y relación entre hecho, teoría y evidencia.

3.3. Importancia didáctica de distinguir y relacionar el hecho, la teoría y la evidencia en las explicaciones evolutivas

La organización sistemática del conocimiento, la explicación de las causas que producen los fenómenos naturales y la posibilidad de que las explicaciones científicas puedan ser refutadas, son características que distinguen a la ciencia del conocimiento adquirido por sentido común (Dobzhansky *et al.*, 1980:472-474; Ruiz y Ayala, 1998: 12-13).

De la misma manera, el lenguaje científico suele ser diferente del lenguaje que se emplea en la vida cotidiana. El lenguaje científico se caracteriza por ser preciso, explicativo, argumentativo, complejo y con un alto grado de abstracción (Revel-Chion, 2010: 72-73).

Cuando los estudiantes se enfrentan a procesos de entendimiento de conceptos complejos, no llegan a comprenderlos totalmente, en su lugar los confunden o utilizan como sinónimos tanto en el lenguaje común y el científico (Chuang, 2003: 669; Tidon y Lewontin, 2004: 126; van Dijk y Reydon, 2010: 657, 664).

Uno de los problemas más frecuentes, es que en el lenguaje común el término teoría suele utilizarse como una suposición que no ha sido verificada ni comprobada (Ayala, 2011: 31-42; Coney, 2009: 38; Sanders y Ngxola, 2009: 121) o como una explicación que tiene nula o poca evidencia. En el lenguaje científico, teoría implica un cuerpo de conocimientos basados en conceptos y principios relacionados entre sí (Coney, 2009: 39; Ruíz y Ayala, 1998: 24) que explican los fenómenos que

ocurren en la naturaleza a partir de metodologías que le dan un grado de certeza (González-Galli, 2010b: 207; Gould, 2004: 102; Chuang, 2003: 673; Coney, 2010: 39-40; Dawkins, 2009: 22-23, 139; Futuyma, 2009: 612-613; Jiménez *et al.*, 2007: 2; Quammen, 2004: 6; Ruiz y Ayala, 1998: 12-13, 19; Sanders y Ngxola, 2009: 121).

El no realizar una distinción entre los términos usados coloquialmente y los términos científicos propicia conflictos y malas interpretaciones de conceptos que son fundamentales (Chuang, 2003: 669; Tidon y Lewontin, 2004: 126, 129, van Dijk y Reydon, 2010: 657, 664).

En el caso particular de la biología evolutiva sino se realiza la distinción en el significado del concepto teoría, propicia que los estudiantes consideren los modelos evolutivos como un acto de fe, poco estrictos, sin pruebas (Chuang, 2003: 673), un argumento inválido, poco confiable y no como una teoría científica que se sustenta con evidencias.

En el aprendizaje de los contenidos científicos, existe una diferencia entre los hechos, los conceptos, las teorías (Pozo y Gómez-Crespo, [1998] 2006: 86-87; Acosta-Pérez, 2014: 21-24) y las evidencias (Acosta-Pérez, 2014: 21-24). Sin embargo, ante el análisis de un cuerpo teórico, los estudiantes no logran distinguir entre estos conceptos y mucho menos, logran relacionarlos.

Si existe una diferencia epistemológica, ontológica y conceptual entre el lenguaje científico y el cotidiano (Pozo y Gómez-Crespo, [1998] 2006: 86-87); es deseable mejorar las prácticas de enseñanza y aprendizaje de los contenidos de biología evolutiva para evitar malas interpretaciones de conceptos que son fundamentales.

Es deseable mostrar el objeto de estudio, el modelo teórico que lo explica y las evidencias que respaldan la ocurrencia del fenómeno y que al mismo tiempo validan los postulados del modelo teórico. Realizar la diferenciación de los conceptos hecho, teoría y evidencia permitirá que los alumnos relacionen los conceptos previos con los nuevos y formulen explicaciones a partir de modelos teóricos de referencia (Revel-Chion y Adúriz-Bravo, 2014: 116).

Las premisas de las que se partió en esta investigación y que coinciden con la implementación didáctica de distinguir y articular el hecho, la teoría y la evidencia en la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos de biología evolutiva radican en que el alumno estará trabajando con contenido teórico que le permitirá analizar, comparar y relacionar información, además de contenido metodológico con el que será capaz de utilizar los métodos de la ciencia en la resolución de problemas.

3.4. Desarrollo de pensamiento científico a partir de las explicaciones evolutivas

La enseñanza y el aprendizaje de la biología evolutiva permiten que los estudiantes tengan conocimientos teóricos de los contenidos de la ciencia y de los métodos utilizados en la labor científica.

Esto favorece que los estudiantes entiendan, recuerden y utilicen los contenidos científicos para dar respuestas a sus preguntas y solución a problemáticas de su contexto social como el uso de antibióticos, la clonación, la protección de la biodiversidad, entre otros- (Pérez y González-Galli, 2016: 477, 479).

Además, el contenido evolutivo permite que los estudiantes entiendan cómo se desarrolla (naturaleza de la ciencia¹⁷), se construye y se valida el conocimiento científico (epistemología) en la biología (González-Galli, 2010a: 63-65).

Lo anterior favorece que los alumnos:

- Interpreten, analicen y evalúen la información desde una perspectiva científica.
- Sean capaces de juzgar si los procedimientos y los resultados de las investigaciones y de las problemáticas sociales son apropiados con los conocimientos que han sido validados por la comunidad científica.

¹⁷ Implica un estudio de la visión filosófica, histórica y social del desarrollo científico (Vázquez, Á., Acevedo, J. A., Manassero, Ma. A. y Acevedo, P., 2001: 166).

- Participen en debates y proporcionen explicaciones fundamentadas en modelos teóricos.
- Puedan interpretar y relacionar la información para formular conclusiones.

Por lo tanto, en esta tesis se considera que el aprendizaje de contenidos de biología evolutiva permite desarrollar pensamiento científico, ya que favorece la formación de ciudadanos informados, críticos, analíticos, capaces de resolver problemáticas, argumentar sus posturas y proporcionar explicaciones sobre los fenómenos naturales fundamentadas en modelos científicos.

Capítulo IV. Propuesta didáctica de biología evolutiva para Educación Media Superior

4.1. Modelo educativo

El modelo educativo de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH), es un bachillerato de cultura básica que se fundamenta en proporcionar educación en el ámbito científico, tecnológico y social, apegado a las demandas de la sociedad actual. También, proporciona una formación ética y social para fomentar actitudes y habilidades necesarias para que los alumnos se apropien de los contenidos, adquieran valores y tomen decisiones (Plan de estudios CCH, 2016).

Conjuntamente, es un modelo propedéutico ya que brinda a los estudiantes los conocimientos necesarios para su ingreso a la licenciatura. Es decir, en los primeros cuatro semestres, los alumnos cursan materias de las áreas experimentales, matemáticas, historia-sociedad y talleres de lenguaje y comunicación, con un contenido de cultura básica. En los dos semestres restantes, los alumnos eligen materias optativas que se relacionen con las áreas de conocimiento de la licenciatura que van a estudiar, favoreciendo de esta manera una formación propedéutica (Plan de estudios CCH, 2016).

Fomenta la enseñanza de lenguas extranjeras (inglés y francés) para que los alumnos puedan usar, intercambiar y comunicar ideas en diferentes plataformas mundiales. También promueve la lectura de libros y la producción de textos con el objetivo de que los alumnos puedan expresar con sus propias palabras lo que entendieron en los libros y logren aplicar los contenidos a situaciones de la vida cotidiana (Plan de estudios CCH, 2016).

4.2. Ubicación del contenido disciplinar

En el plan de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, los conocimientos se agrupan en cuatro áreas de conocimiento:

Matemáticas. Se enseña a los alumnos a percibir esta disciplina como ciencia en constante desarrollo, la cual les permitirá: conocer y descubrir el entorno físico y social, desarrollar el rigor, la exactitud y la formalización de su estudio y les permitirá la resolución de problemas.

Ciencias experimentales. El desarrollo de la ciencia y la tecnología hacen necesaria la incorporación de formas de hacer y de pensar de los estudiantes, por ello es importante que conozcan y comprendan la información que diariamente se presenta con características científicas, para que comprendan fenómenos naturales que ocurren en su entorno o en su propio organismo y con ello elaboren explicaciones racionales de estos fenómenos.

Histórico-Social. Resulta fundamental que los alumnos analicen y comprendan problemas específicos del acontecer histórico de los procesos sociales del pensamiento filosófico y la cultura general.

Talleres de lenguaje y comunicación. Conocerán el uso consciente y adecuado del conocimiento reflexivo y de los sistemas simbólicos, buscando desarrollar la facultad de entenderlos y producirlos, tanto en la lengua materna, la lengua extranjera (inglés o francés), como en los sistemas de signos auditivos y visuales de nuestra sociedad.

En el programa de estudios, la materia de biología está dentro del área de Ciencias experimentales y está integrada por cuatro asignaturas: biología I y II en los semestres tercero y cuarto, como parte de la contribución a la cultura básica en esta ciencia. Y en los semestres quinto y sexto, la asignatura de biología III y IV, como parte de la formación propedéutica para continuar con los estudios superiores.

El enfoque de la asignatura de biología, propone que los alumnos adquieran los conocimientos básicos y fundamentales de la biología, así como habilidades, actitudes y valores con los cuales pueda afrontar los nuevos conocimientos en esta disciplina y puedan desenvolverse en la vida diaria.

El enfoque que es de particular interés para la investigación, menciona que el pensamiento evolucionista le da independencia y autonomía a la biología como ciencia. Es decir, la biología es una ciencia diferente a otras, ya que difiere en su objeto de estudio, en su historia, en sus métodos y en su filosofía y es una ciencia integradora que explica los fenómenos vivos a partir del conocimiento de disciplinas como la genética, la ecología y la biología evolutiva para explicar características, procesos y mecanismos de los seres vivos (Programas de estudio de biología I a IV-CCH, 2003:3).

Teniendo como referentes los puntos mencionados, los contenidos de la propuesta didáctica se ubican en el Programa de Estudios de Biología II (2003), del plan de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, en el Tema II. La evolución como proceso que explica la diversidad de los sistemas vivos de la PRIMERA UNIDAD: ¿Cómo se explica el origen, evolución y diversidad de los sistemas vivos?

4.3. Población de estudio

En la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Sur, se encuentran alumnos entre los 16 y 20 años de edad. El mapa curricular del plan de estudios del CCH 2003, establece que los alumnos cursarán seis semestres para completar este grado educativo.

Con base en estas especificaciones, los temas de biología se imparten a partir del tercer semestre. Por lo que biología I y biología II son asignaturas obligatorias y biología III y biología IV son asignaturas optativas que se imparten durante el quinto y sexto semestre.

Los estudiantes que son de interés para los fines de esta investigación son los que se encuentran cursando la asignatura de biología II, ya que en ella se aborda el contenido disciplinar de la propuesta didáctica.

Sin embargo, durante la investigación se presentó la oportunidad de trabajar con alumnos de tercer semestre que cursaban la asignatura de biología I y que tenían pocos conocimientos de los contenidos de biología evolutiva, puesto que no están en el programa de estudios de la asignatura. Así, como con alumnos de sexto semestre, que cursaban la asignatura de biología IV y que se esperaba que tuvieran mayores conocimientos de biología evolutiva, ya que anteriormente habían cursado la asignatura de biología II.

Los resultados de las evaluaciones de estos grupos sirvieron para realizar una comparación entre los alumnos que tienen escasos conocimientos de biología evolutiva, los alumnos que están en el proceso de enseñanza y aprendizaje de dichos contenidos y los alumnos que ya pasaron por ese proceso.

Población de estudio de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur

Semestre	Asignatura	Grupo	Turno	Número de alumnos
Tercero	Biología I	360 A	Vespertino	17
Cuarto	Biología II	460 A	Vespertino	19
		468 A	Mixto	24
Sexto	Biología IV	654 A	Vespertino	19

Tabla 4. Total de estudiantes, de la población de estudio, que trabajaron con la secuencia didáctica de biología evolutiva.

De los 79 estudiantes con los que se realizó la intervención didáctica, del contenido de biología evolutiva, solo se tomaron en cuenta los resultados de 49 estudiantes que presentaron la evaluación diagnóstica y la evaluación final (ANEXO 1). Puesto que, los resultados antes y después de la intervención didáctica permitirán tener

evidencias, realizar juicios y tomar decisiones sobre la pertinencia y la calidad de la propuesta didáctica.

4.4. Objetivos de la propuesta didáctica

Enseñanza y aprendizaje del modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSEN) y la argumentación científica escolar.

Elaboración de explicaciones a casos de evolución adaptativa a partir de los conceptos fundamentales del MEVSEN y el uso de los componentes de la argumentación científica escolar.

Desarrollo de habilidades del pensamiento científico a partir de la enseñanza y el aprendizaje del MEVSEN y de la argumentación científica escolar.

4.5. Planificación de la secuencia didáctica

4.5.1. ¿Qué es una secuencia didáctica?

Una secuencia didáctica es una serie de actividades ordenadas y organizadas, en las que se vinculan ideas previas con contenidos nuevos, que tienen el objetivo de propiciar el aprendizaje de un contenido en particular. Es decir, la estructura de la secuencia didáctica debe tener en cuenta las ideas previas y vincular el nuevo contenido con información cercana al contexto de los estudiantes, con el objetivo de que la información les sea significativa (Díaz-Barriga, 2013: 4).

4.5.2. ¿Qué es una planificación?

Algunos docentes consideran que la planificación de las clases es un trámite burocrático, ya que se hace siguiendo los lineamientos establecidos por las autoridades escolares; los cuales buscan cumplir con las metas y los objetivos establecidos en los diferentes niveles de concreción. Es así, que el programa de

estudios es el más utilizado por los profesores para elaborar sus planificaciones. Siguiendo esta lógica, se deja de lado la importancia de las actividades y las tareas que se deben de realizar para cumplir con los objetivos de aprendizaje (Salinas, 1990: 96-97).

Además, es frecuente que las planificaciones se elaboren siguiendo un formato establecido, lo cual genera malos resultados en el aprendizaje de los estudiantes, ya que no se considera la heterogeneidad, los ritmos y los estilos de aprendizaje, dando como resultado una enseñanza uniforme que no beneficia a los estudiantes (Salinas, 1990: 98-99).

Por lo tanto, la planificación es muy importante para establecer qué y cómo se va a enseñar. Es decir, establecer los temas, así como el orden, la secuencia y la complejidad de los mismos, el tipo y el número de actividades, el número de tareas que se van a establecer, el orden y la organización de las estrategias de enseñanza y aprendizaje, así como las formas de evaluación (Campos, 1998: 36-59).

Planificar, también es importantes para establecer el ambiente y las interacciones que se va a generar en el aula (Salinas, 1990: 96-97). Cuando una clase, una unidad o todo un curso están planificados se crea un buen clima para el aprendizaje, ya que el profesor muestra seguridad, existe claridad y dominio del contenido curricular durante las sesiones, se crea un ambiente de confianza, se evita la pérdida de tiempo y se fomenta el aprendizaje (Díaz-Barriga, 2010: 388).

La planificación se puede hacer por programas, unidades o sesiones y debe especificar qué es lo que los alumnos deben aprender, las condiciones en las que se van a enseñar esos aprendizajes, los propósitos esperados, los tiempos de ejecución, el tipo de tareas, las destrezas a desarrollar, los materiales que se van a utilizar. En otras palabras, debe mostrar el para qué los alumnos deberían aprender dichos contenidos (Díaz-Barriga, 2010: 390-394).

Por lo tanto, el proceso de planificación tiene dos funciones fundamentales: organizar el plan de acción en el aula y mejorar la enseñanza a lo largo del curso. La ejecución de esta actividad, de programar y de planificar, es importante en el

quehacer docente; razón por la cual, debe ser flexible y tomar en cuenta las necesidades, los problemas, los cuestionamientos, entre otros factores que se presentan en la práctica docente (Salinas, 1990: 100).

Bajo las exigencias de la sociedad actual, se requiere que el profesor deje de hacer planificaciones basadas en técnicas o recetas y procure reflexionar sobre su práctica para que detecte las actividades, los recursos, los materiales y los tiempos que funcionan y mejore los que no dan buenos resultados. Además, el profesor, debe ser capaz de reflexionar, enfrentar y solucionar los problemas imprevisibles de forma inmediata, con inteligencia y creatividad (De Lella, 2003: 23-24; Salinas, 1990: 98).

4.5.3. Secuencia didáctica de biología evolutiva

Para la elaboración de la secuencia didáctica de biología evolutiva se tomó como referencia la metodología didáctica propuesta por Alvarez Pérez (2016), modificada de García Méndez (2008).

La tabla de la metodología didáctica muestra el resumen y la relación que se establece entre los elementos del sistema didáctico que son necesarios para el diseño de sesiones, unidades o cursos de un plan de estudios determinado (Alvarez-Pérez, 2016: 141).

Partiendo de las especificaciones de Alvarez Pérez (2016), se elaboró la metodología didáctica para las tres sesiones de la secuencia didáctica de biología evolutiva diseñada en esta investigación (ANEXO 2).

A partir de la metodología didáctica se elaboró una planificación extensa (ANEXO 3) que muestra a detalle cada una de las actividades y los recursos que se diseñaron para cada sesión de la secuencia didáctica.

Secuencia didáctica de biología evolutiva		
Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3
<p>*Evaluación diagnóstica: el problema de los piojos de González-Galli y Meinardi, 2015.</p> <p>*Ideas previas sobre la argumentación científica escolar.</p> <p>*Componentes de la argumentación científica escolar: teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.</p> <p>*Modelización de la argumentación científica escolar.</p> <p>*Reelaborando el problema de los piojos a partir de los elementos de la argumentación científica escolar.</p>	<p>*Ideas previas sobre la adaptación.</p> <p>*Conceptos fundamentales del modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSEN).</p> <p>*Simulación de la selección natural.</p> <p>*Lectura del modelo de evolución por selección natural (MESN) de González-Galli, 2010.</p> <p>*Torneo del MEVSEN.</p>	<p>*Rompecabezas de las evidencias de la evolución biológica (EEB).</p> <p>*Diferencia y relación entre los conceptos: hecho, teoría y evidencia.</p> <p>*Lectura “El genotipo ahorrados” que integra los tres conceptos y los componentes de la argumentación científica escolar.</p> <p>*Evaluación final: el problema de los peces de González-Galli y Meinardi, 2015.</p>

Tabla 6. En la tabla se sintetiza la secuencia didáctica de biología evolutiva diseñada en esta investigación.

4.6. Calibración de la secuencia didáctica

Se realizó un análisis hermenéutico cualitativo con el objetivo de identificar obstáculos epistemológicos, componentes de la argumentación científica escolar y patrones en la diferenciación y la articulación de los conceptos hecho, teoría y evidencia en las explicaciones a casos de evolución adaptativa en la evaluación diagnóstica y final de la secuencia didáctica.

El procedimiento que se llevó a cabo en cada enfoque de investigación se describe a continuación.

El análisis del discurso de las respuestas pre y post instruccionales, del contenido de biología evolutiva, se hizo con base en las especificaciones de la teoría fundamentada de datos. Esta metodología se usa para interpretar resultados cualitativos. Su principal objetivo es generar conocimiento a partir de los datos obtenidos en la investigación e interpretar los fenómenos observados (Ardilla y Ruedas, 2013: 97; Campo-Redondo y Labarca, 2009: 41; De Cavalho, C., Luzia, J., Soares, S y Conceição, M., 2009: 1-4; De la Cuesta, 2006: 136-140).

Se eligió este método de análisis ya que no se pre establecen categorías antes ni después de la recogida de datos, por lo que permite detectar diferentes problemáticas asociadas con el objeto de estudio (Ardilla y Ruedas, 2013: 97; Campo-Redondo y Labarca, 2009: 41; De Cavalho, C., Luzia, J., Soares, S y Conceição, M., 2009: 1-4; De la Cuesta, 2006: 136-140; Jaime, A., García-Nieto, A. y Pérez, A., 2007:60-67).

En esta investigación se propuso detectar obstáculos epistemológicos, respuestas seleccionales e híbridas, reportadas por González-Galli (2001) (2016); González-Galli y Meinardi (2010) (2015) (2016) y González-Galli, Revel-Chion y Meinardi (2008), entre otros patrones que no estuvieran reportados en la literatura, pero que se relacionaran con la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos de biología evolutiva.

Para el análisis de la habilidad argumentativa se elaboró una rúbrica de evaluación que contenía los cuatro componentes de la argumentación científica escolar, propuestos por Revel-Chion y Adúriz-Bravo (2014). Además del componente evidencias, ya que es uno de los conceptos fundamentales de la investigación y es importante en la estructura de las explicaciones científicas.

El análisis de la diferencia y la articulación entre el hecho, la teoría y la evidencia se realizó a partir de la comparación entre los resultados del análisis del discurso del contenido de biología evolutiva y los resultados de la rúbrica de evaluación de la argumentación científica escolar. El objetivo fue determinar si los estudiantes lograron identificar el fenómeno que se les planteó, si lo explicaban a partir del modelo teórico que se mostró en la secuencia didáctica y si hacían uso de evidencias, ya sea para confirmar el fenómeno natural o respaldar los argumentos de la teoría.

4.6.1. Resultados

Las respuestas de las evaluaciones se organizaron en tres tablas:

La primera muestra los resultados del análisis del discurso a los casos de evolución adaptativa (ANEXO 4).

La segunda, el análisis de la estructura de las explicaciones a los casos de evolución adaptativa y los componentes de la argumentación científica escolar utilizados por los alumnos (ANEXO 5).

La tabla tres muestra el análisis de la diferencia y la articulación entre el hecho, la teoría y la evidencias en las respuestas pre y post instruccionales (ANEXO 6).

Además, se presentan los resultados del análisis de las evaluaciones pre y post instruccionales a casos de evolución adaptativa de los cuatro grupos de estudio:

En la Tabla 10 se muestran los diferentes tipos de respuestas relacionadas con obstáculos epistemológicos, cercanas al modelo científico (seleccionales) y

explicaciones híbridas que son una mezcla entre obstáculos epistemológicos y explicaciones seleccionales. La Tabla 11 muestra las combinaciones de componentes de la argumentación científica escolar que emplearon los alumnos en la construcción de explicaciones a casos de evolución adaptativa y la Tabla 12 muestra las combinaciones en el uso de los conceptos, hecho, teoría y evidencia en la construcción de explicaciones a casos de evolución adaptativa.

Finalmente, la Tabla 13 muestra los resultados globales de las explicaciones pre y post-instruccionales a partir de los tres enfoques de investigación que se propusieron como ejes estructurales de esta investigación.

Tipos de explicaciones a casos de evolución adaptativa									
	Grupo	360 A		460 A		468 A		654 A	
	Evaluación	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Tipo de respuesta									
Obstáculos epistemológicos	TSC	8	0	1	0	7	1	7	2
	RCL	2	6	0	2	1	9	1	4
	RCI	1	0	2	0	0	0	0	1
	TSC/RCL	2	1	0	1	2	0	0	2
	TSC/RCI	1	0	4	0	4	0	0	0
	RCL/RCI	0	2	0	0	1	0	0	0
Cercanas al modelo	SELECCIONAL	0	5	0	3	0	3	3	4
	HÍBRIDA	0	0	0	1	0	2	2	0
Total		14	14	7	7	15	15	13	13

Tabla 10. Las explicaciones a los casos de evolución adaptativa en las evaluaciones diagnóstica y final reflejan obstáculos epistemológicos, explicaciones cercanas al modelo de evolución por variación y selección natural así como respuestas híbridas que se caracterizan por presentar obstáculos epistemológicos y una idea cercana al modelo enseñado.

Argumentación científica escolar en explicaciones a casos de evolución adaptativa									
	Grupo	360 A		460 A		468 A		654 A	
	Evaluación	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Elementos de la argumentación científica									
Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias		1	6	0	0	0	4	0	0
Teórico, lógico, pragmático y retórico.		0	4	0	2	0	5	2	4
Teórico, lógico, retórico y evidencias.		0	1	0	1	0	0	0	0
Lógico, pragmático y retórico.		1	0	0	0	0	1	1	2
Lógico, retórico y evidencias.		1	0	0	0	0	0	1	0
Teórico, lógico, pragmático.		0	0	0	0	0	0	6	4
Teórico, lógico y retórico.		2	2	0	3	3	3	0	0
Lógico y pragmático.		0	0	1	0	0	0	2	2
Lógico y evidencias.		1	0	0	0	0	0	0	0
Teoría y evidencia		0	1	0	0	0	0	0	0
Teórico y retórico.		1	0	0	0	0	0	0	0
Lógico y retórico.		1	0	0	0	6	0	0	0
Teórico y lógico		2	0	0	1	2	1	0	0
Evidencias.		0	0	0	0	0	0	0	0
Ninguno.		0	0	4	0	4	1	0	0
Teórico		1	0	0	0	0	0	0	1
Lógico		3	0	2	0	0	0	1	0
TOTAL		14	14	7	7	15	15	13	13

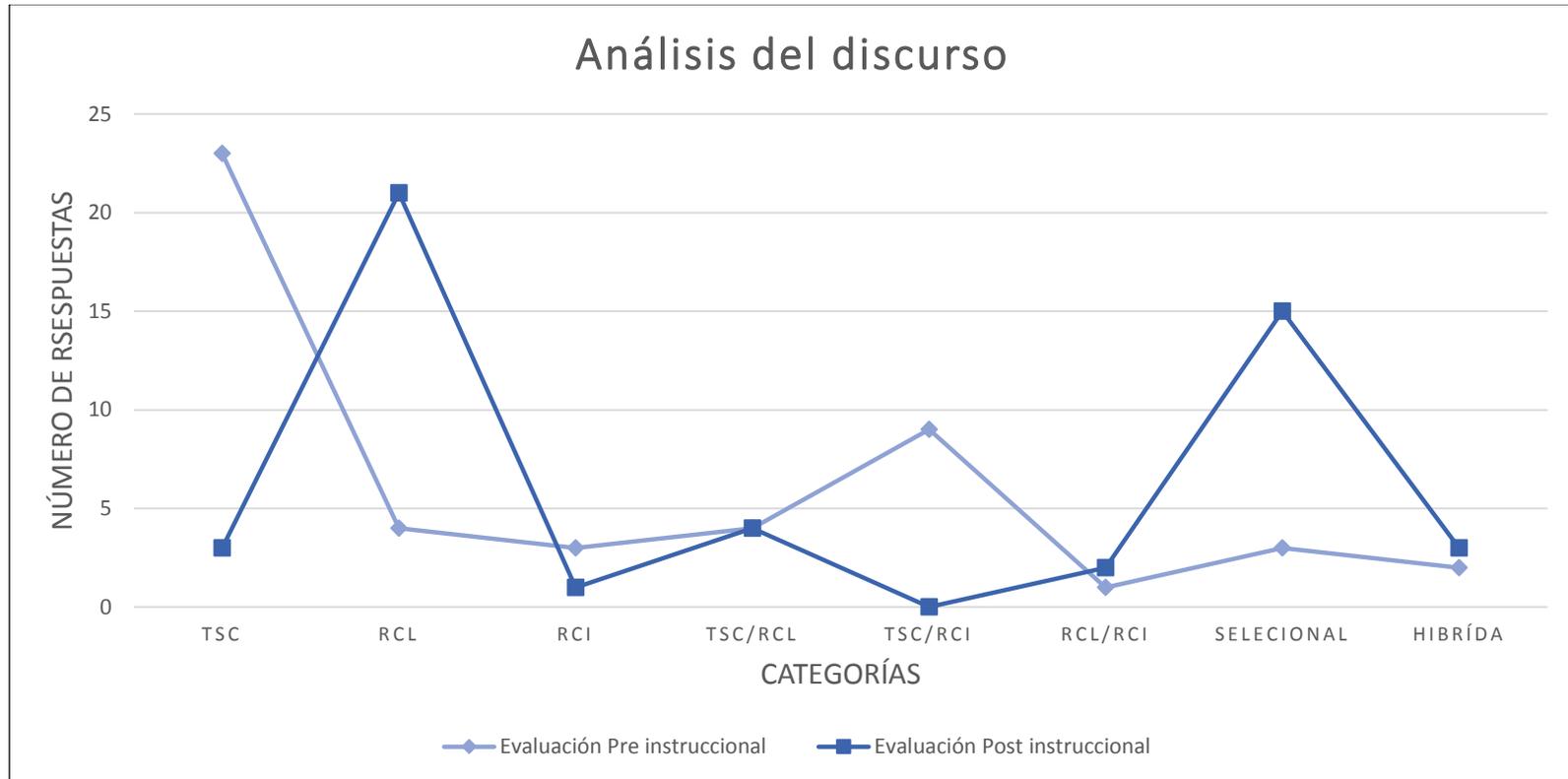
Tabla 11. Se muestran las combinaciones de los componentes de la argumentación científica escolar que se obtuvieron de las respuestas a los casos de evolución adaptativa en los cuatro grupos de estudio.

Diferenciación y articulación de hecho, teoría y evidencia									
	Grupo	360 A		460 A		468 A		654 A	
	Evaluación	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Hecho, modelo teórico y evidencia									
Hecho, modelo teórico y evidencia.									
		2	7	0	1	0	3	0	0
		6	7	0	6	5	10	8	9
		1	0	0	0	0	0	1	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	4	0	0	0	0	0
		5	0	3	0	10	2	4	4
TOTAL		14	14	7	7	15	15	13	13

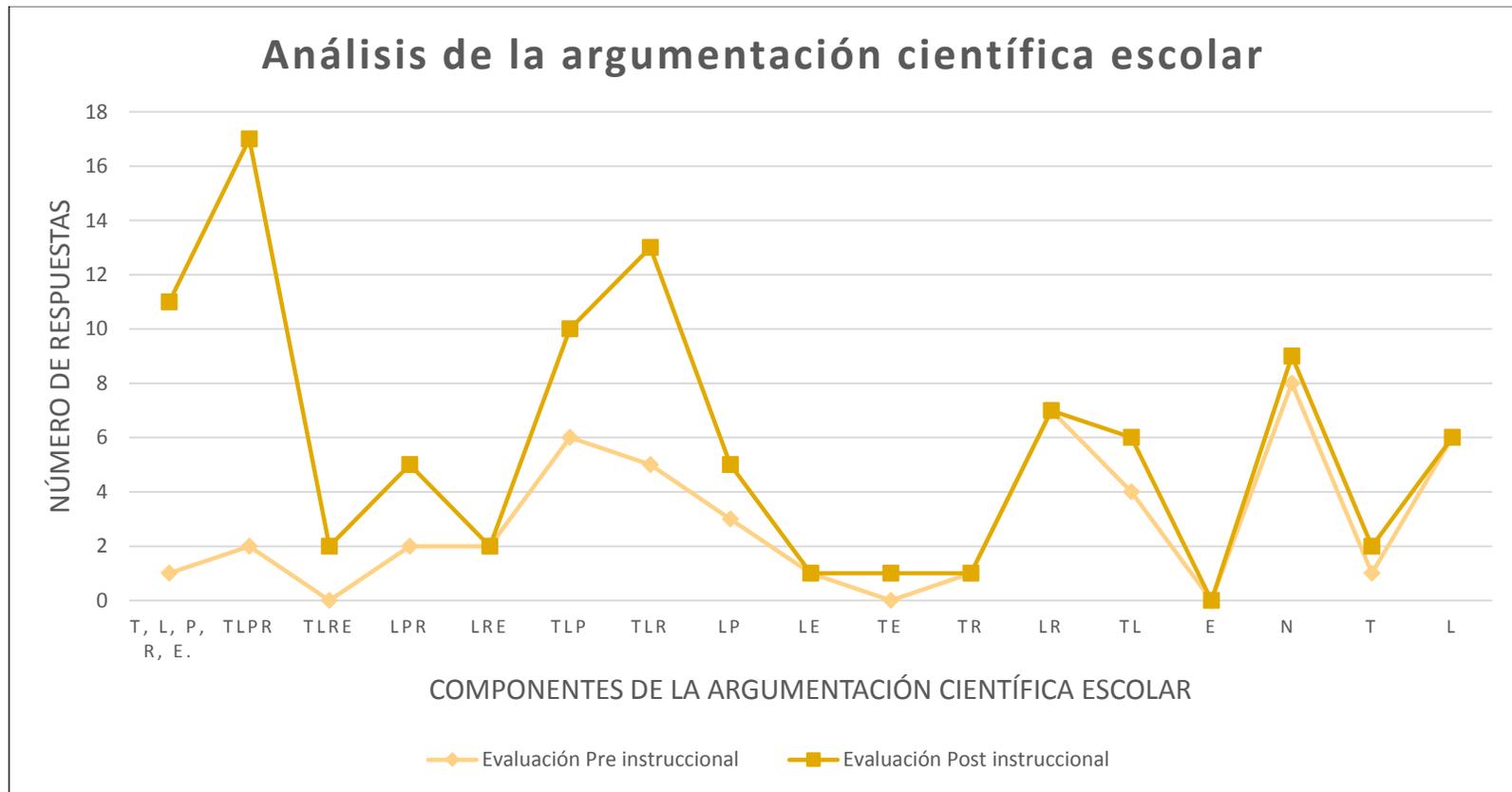
Tabla 12. Resultados de la comparación entre el análisis del discurso y los elementos de la argumentación científica escolar y su relación en la diferenciación y la articulación del hecho, la teoría y la evidencia en la construcción de explicaciones a casos de evolución adaptativa.

Resultados globales de los tres enfoques de investigación					
Modelo de investigación	Categoría	Evaluación			
		Pre instruccional	%	Post instruccional	%
Obstáculos epistemológicos (Análisis del discurso)	TSC	23	46.93	3	6.12
	RCL	4	8.16	21	42.85
	RCI	3	6.12	1	2.04
	TSC/RCL	4	8.16	4	8.16
	TSC/RCI	9	18.36	0	0
	RCL/RCI	1	2.04	2	4.08
	SELECCIONAL	3	6.12	15	30.61
	HÍBRIDA	2	4.08	3	6.12
Argumentación científica escolar	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias	1	2.04	10	20.40
	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	2	4.08	15	30.61
	Teórico, lógico, retórico y evidencias.	0	0	2	4.08
	Lógico, pragmático y retórico.	2	4.08	3	6.12
	Lógico, retórico y evidencias.	2	4.08	0	0
	Teórico, lógico, pragmático.	6	12.24	4	8.16
	Teórico, lógico y retórico.	5	10.20	8	16.32
	Lógico y pragmático.	3	6.12	2	4.08
	Lógico y evidencias.	1	2.04	0	0
	Teoría y evidencia	0	0	1	2.04
	Teórico y retórico.	1	2.04	0	0
	Lógico y retórico.	7	14.28	0	0
	Teórico y lógico.	4	8.16	2	4.08
	Evidencias.	0	0	0	0
	Ninguno.	8	16.32	1	2.04
	Teórico	1	2.04	1	2.04
	Lógico	6	12.24	0	0
	Hecho, teoría y evidencia	Hecho, modelo teórico y evidencia.	2	4.08	11
Hecho y modelo teórico.		19	38.77	32	65.30
Hecho y evidencia.		2	4.08	0	0
Modelo teórico		0	0	0	0
Evidencia		0	0	0	0
Ninguno		4	8.16	0	0
Hecho		22	44.89	6	12.24

Tabla 13. Se muestran los resultados globales de las explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa a partir de los tres enfoques de investigación (obstáculos epistemológicos, argumentación científica escolar y articulación de los conceptos, hecho, teoría y evidencia) que se propusieron como ejes estructurales de esta investigación. Los porcentajes se obtuvieron a partir de la muestra de estudio (N=49) que representa a los estudiantes que realizaron la evaluación diagnóstica y final.



Gráfica 1. Se muestran las diferencias entre el número de explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa. Aunque los obstáculos epistemológicos persisten después de la implementación de la secuencia didáctica se evidencia que los alumnos comienzan a utilizar un lenguaje científico y en consecuencia construyen explicaciones seleccionales.



Gráfica 2. Se presentan las diferencias en el uso y la combinación de los elementos de la argumentación científica escolar en las explicaciones pre y post- instruccionales a casos de evolución adaptativa.



Gráfica 3. Se muestran los conceptos propuestos en el modelo de investigación de la secuencia didáctica y su uso en las explicaciones pre y post-instruccionales a casos de evolución adaptativa.

4.7. Alcances de la propuesta didáctica

Los resultados obtenidos, a partir del análisis con los diferentes enfoques didácticos (obstáculos epistemológicos, argumentación científica escolar y diferencia y relación entre hecho, teoría y evidencia), muestran patrones que se han documentado en la literatura, así como nuevos hallazgos que a continuación se describen.

Un resultado alentador se observó en los resultados del análisis del discurso, ya que antes de la implementación de la secuencia didáctica sólo el 6.12% de los alumnos dieron explicaciones seleccionales al problema de los piojos y al final de la secuencia un 30.61% de los alumnos construyeron explicaciones cercanas al MEVSEN para el problema de los peces (Véase Gráfica 1).

Esto significa que la estructura de la secuencia didáctica ayudó a que varios alumnos cambiaran sus marcos de referencia y logaran explicar el problema a partir del modelo científico que se enseñó durante la implementación de la secuencia didáctica.

Conjuntamente, la enseñanza y el uso de la argumentación científica escolar contribuyeron en la obtención de este resultado; ya que uno de los componentes de este enfoque, específica que todos los problemas se explican a partir de modelos teóricos. Así como la estructura de la secuencia didáctica que se fundamentó en la diferenciación y en la relación de los conceptos: hecho, teoría y evidencia.

En cuanto al análisis de la argumentación científica escolar, la evaluación diagnóstica evidenció que el 98% de los estudiantes desconocían la estructura y los componentes de un texto explicativo. Ya que sólo el 2% de los alumnos construyó una explicación considerando los cinco componentes de la argumentación científica escolar, mientras que el 82% de los estudiantes utilizaron al menos tres componentes en diferentes combinaciones y el 16% de los alumnos no usaron ningún componente (Véase Gráfica 2).

En la evaluación post-instruccional se obtuvieron resultados favorables, ya que la enseñanza y la modelización de la argumentación científica escolar propició que el 20.40% de los estudiantes construyeran explicaciones utilizando los cinco componentes de la argumentación científica escolar, el 30.61% utilizó cuatro componentes y el 34.68% utilizó al menos tres componentes en diferentes combinaciones (Véase Tabla 13).

Estos resultados muestran que la enseñanza y el aprendizaje de la argumentación científica escolar pueden lograr buenos resultados y favorecer el análisis, el orden y la relación de la información para la elaboración de explicaciones complejas.

El contenido de las evaluaciones pre y post-instruccionales dan cuenta de problemas de evolución adaptativa. Aunque son casos diferentes, el núcleo del problema es el mismo y se consideran equivalentes. Por lo tanto, la premisa es que los estudiantes los expliquen a partir del MEVSEN.

Sin embargo, en el análisis del discurso se detectó que en la evaluación diagnóstica el 46.93% de los alumnos explicaron el problema de los piojos a partir de los obstáculos epistemológicos de teleología de sentido común (TSC) y el 18.36% lo hizo a partir de una mezcla entre TSC y razonamiento centrado en el individuo (RCI). Mientras que en la evaluación post-instruccional el 42.85% de los alumnos explicaron el problema de los peces a partir del obstáculo epistemológico de razonamiento causal lineal (RCL) y un 30.61% de los alumnos lo hizo a partir de explicaciones cercanas al MEVSEN (Véase Gráfica 1).

El patrón que se detectó en las respuestas pre y post-instruccionales da cuenta de que ante diferentes casos de evolución adaptativa, los alumnos recurren a diferentes obstáculos epistemológicos para explicarlos. Es decir, los estudiantes pueden ir de un obstáculo a otro e incluso utilizar varios en la construcción de explicaciones. Relacionado con esto, González-Galli (2011) menciona que el aumento en la complejidad en los casos de evolución adaptativa propicia que los alumnos recurran a diferentes obstáculos epistemológicos para explicarlos.

Sin embargo, los casos que se plantearon en las evaluaciones pre y post-instruccionales son equivalentes en cuanto a contenido y complejidad, lo cual da cuenta de que ante casos de evolución adaptativa de este tipo, los alumnos también recurren a explicarlos a partir de diferentes obstáculos epistemológicos.

La presencia de los obstáculos epistemológicos antes y después de la implementación de la secuencia didáctica es un patrón reportado en las investigaciones de González-Galli (2011). La persistencia de dichos obstáculos, en esta investigación, se debe principalmente a que estas estructuras de pensamiento rara vez desaparecen debido a sus características particulares como la transversalidad, la funcionalidad y la competencia con los modelos científicos (González-Galli y Meinardi, 2016: 470; González-Galli y Meinardi, 2015:104; González-Galli y Meinardi, 2010: 1).

Además, el tiempo que se destinó para la implementación de la secuencia didáctica, es otro factor que propició la persistencia de los obstáculos epistemológicos. Se considera que tres sesiones no son suficientes para modificar y mucho menos eliminar estas estructuras de pensamiento.

Ante esta situación se propone que el trabajo didáctico de los obstáculos epistemológicos se realice durante todo el curso con temas asociados a biología evolutiva (González-Galli y Meinardi, 2015: 117, González-Galli y Meinardi, 2011: 535). Con esta estrategia se esperaba que los estudiantes emplearan habilidades metacognitivas en la identificación de obstáculos epistemológicos en sus explicaciones y con el trabajo didáctico y disciplinar estas estructuras de pensamiento sean sustituidas por explicaciones científicas.

Una comparación entre los resultados en el análisis del discurso de los grupos 360 A y 654 A muestra que los alumnos de Biología I (360 A) que durante su trayectoria escolar solo habían cursado la asignatura de Ciencias I (biología) en la secundaria, construyeron un número mayor de respuestas seleccionales al problema de los peces (35.71%) a diferencia de los alumnos del grupo 654 A (Biología IV) que sólo obtuvieron un 30.76% de respuestas seleccionales y se esperaba que al haber

llevado más de tres cursos de biología durante su trayectoria escolar dieran explicaciones más cercanas al MEVSEN.

Este resultado puede deberse a diferentes factores como la persistencia de los obstáculos epistemológicos, los estilos de enseñanza y aprendizaje, la secuencia de los contenidos y las estrategias que usaron los docentes en la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos de biología evolutiva en los cursos anteriores. Así como la formación y la actualización docente, los planes y los programas de estudio.

En otras palabras, como menciona Alvarez Pérez (2015), no sólo son los estudiantes los que presentan problemas en la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos de biología evolutiva, existen diferentes factores que generan nudos problemáticos, los cuales tienen un origen diferente y por lo tanto, el trabajo didáctico debe ser específico para cada caso.

Las evidencias se incluyeron como un componente de la argumentación científica escolar y dentro de la secuencia didáctica se resaltó su importancia y su uso en la construcción de explicaciones científicas. Sin embargo, los resultados muestran que al inicio de la implementación de la secuencia didáctica el 8.16% de los alumnos utilizaron el concepto evidencias y en la evaluación post-instruccional sólo un 24.44% de los alumnos lo utilizaron en sus explicaciones.

Se puede anticipar que este patrón se debió a diferentes factores como la falta de énfasis y explicitud en la instrucción para incorporar el componente, aun cuando se haya incluido y mencionado su importancia en diferentes textos, la explicación que se dio de su significado y su uso dentro de la explicación; incluso el tipo de evidencias que se utilizaron.

Relacionado con el último punto, sería deseable investigar si hay otros tipos de evidencias que se puedan utilizar, a parte de los incorporados por los modelos evolutivos y precisar si su uso permite que los estudiantes tengan la facilidad de identificar, asociar y utilizar las evidencias en sus explicaciones para darles más fuerza y validez.

Una de las premisas fue que si la secuencia didáctica tenía la estructura de diferenciar y relacionar el hecho, la teoría y la evidencia, después de su implementación las explicaciones de los alumnos tendrían la misma estructura.

Sin embargo, los resultados de la evaluación diagnóstica muestran que sólo el 4.08% de los alumnos relacionan los tres conceptos y un 38.77% relaciona el hecho con un modelo teórico, el resto de los alumnos identifican el hecho (44.89%) y en un 8.16% de las explicaciones no se detectan los conceptos. Los resultados después de la implementación de la secuencia didáctica muestra que un 22.44% de los alumnos relacionaron los tres conceptos en las explicación al caso de evolución adaptativa, un 65.30% de los alumnos relacionaron el hecho con el modelo teórico que se enseñó y solo el 12.24% identificó e incorporó el hecho en sus explicaciones (Véase Gráfica 3).

Estos resultados sugieren que la estructura de la secuencia didáctica permite que los alumnos identifiquen el problema o fenómeno natural que tienen que explicar y lo hagan a partir del modelo teórico que se enseñó. Sin embargo, persiste la ausencia de las evidencias, se sugiere que al igual que en el enfoque de argumentación científica escolar se realice una investigación para lograr su incorporación en las explicaciones científicas.

Es importante mencionar que uno de los factores que propiciaron la persistencia de los obstáculos epistemológicos, la ausencia de las evidencias y la falta de relación y diferenciación de los conceptos hecho, teoría y evidencia en las explicaciones se debió al tiempo que se destinó para realizar el trabajo didáctico (tres sesiones equivalentes a 5 horas en total). Sin embargo, los resultados que se obtuvieron son un paso importante en la investigación de didáctica de la biología evolutiva.

Finalmente, los resultados de la intervención didáctica evidencian que la secuencia propicia que los estudiantes expliquen a partir de modelos científicos en el contexto de la ciencia escolar, que los docentes aprendan y utilicen el enfoque didáctico de diferenciar y relacionar el hecho, la teoría y la evidencia, así como el aprendizaje de la epistemología, la filosofía, la historia y la naturaleza de la ciencia para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la biología evolutiva.

Conclusiones

El proceso de elaboración de la secuencia didáctica permitió conjuntar los aportes de la biología con los de la pedagogía y unificarlos en la didáctica de la biología evolutiva. Es decir, aprender más sobre los contenidos biológicos, los principios epistemológicos, filosóficos y pedagógicos, así como la historia y la naturaleza de la ciencia permitieron realizar una deconstrucción y reconstrucción de los contenidos evolutivos para elaborar una secuencia didáctica y llevarla al aula.

Las actividades que se propusieron en la secuencia didáctica fueron formuladas siguiendo criterios de la disciplina a enseñar y didácticos con el objetivo de que los estudiantes logran identificar los fenómenos naturales, los explicaran a partir de modelos teóricos y usarán evidencias para la construcción de explicaciones científicas y con esto se favoreciera la formación de pensamiento científico.

Evaluar la complejidad estructural de las explicaciones, reconocer los componentes de la argumentación científica escolar, estimar cuán explícito y robusto fue el marco teórico utilizado se hizo para evaluar la pertinencia de la secuencia didáctica propuesta.

En el plan y en el programa de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades se menciona que durante la trayectoria escolar los alumnos adquirirán los conocimientos necesarios del proceso evolutivo, identificarán fenómenos naturales, tendrán la habilidad de construir textos, podrán comunicar y aplicar lo que aprendieron a situaciones de la vida diaria.

Sin embargo, los resultados de la evaluación diagnóstica evidencian que los alumnos de cuarto y sexto semestre tienen pocos o nulos conocimientos de evolución y de argumentación científica escolar, ya que las explicaciones que construyeron de los casos de evolución adaptativa se caracterizaron por tener los tres obstáculos epistemológicos reportados por González-Galli, 2011 (pensamiento causal lineal, razonamiento centrado en el individuo, teleología de sentido común) y por desconocer los elementos de la argumentación científica escolar.

Estos resultados sugieren que los contenidos de biología evolutiva y de argumentación establecidos en el programa de estudios de las asignaturas de Biología II y IV y del Taller de Lectura y Redacción e Iniciación a la Investigación Documental no se están enseñando o los estudiantes no los están aprendiendo por diferentes factores como la selección de temas a enseñar, la importancia y la transversalidad de los contenidos, los recursos didácticos, el tiempo y la práctica que se destina a la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos, entre otros factores.

Después de implementar la secuencia didáctica los resultados de la evaluación final muestran explicaciones cercanas al modelo de evolución por variación y selección natural, persistencia de los obstáculos epistemológicos y explicaciones híbridas que se caracterizan por combinar explicaciones seleccionales con obstáculos epistemológicos.

También se observó que algunos estudiantes construyeron explicaciones en las que incorporaron los conceptos de hecho y modelo científico, las cuales presentaron una mejoría en cuanto a estructura e incorporación de los elementos de la argumentación científica escolar.

La ausencia del concepto evidencias en las explicaciones de los alumnos pudo deberse a la falta de claridad y explicitud al mostrar los tipos de evidencias, su importancias y su incorporación en las explicaciones científicas.

Las dificultades para construir un texto científico se pueden asociar a que los alumnos intentaron cumplir con los elementos que debe tener un texto explicativo y no en lo significativo de sus razonamientos y del contenido que aprendieron.

Es importante resaltar que si bien los estudiantes no saben argumentar científicamente, sí saben elaborar un texto explicativo desde la argumentación científica escolar. Es decir, a partir del contexto y el nivel escolar y cognitivo en el que se encuentran.

La persistencia de los obstáculos epistemológicos, la desconexión del fenómeno con el modelo teórico y las evidencias, así como las dificultades para construir un

texto explicativo aun después de la implementación de la secuencia didáctica se deben a factores como la enseñanza explícita e implícita de los contenidos, la selección de los temas a enseñar, el tiempo y el espacio que se selecciona para cumplir con el programa de estudios, el tiempo que se destinó a la implementación de la secuencia didáctica (5 horas), la trayectoria académica y escolar de profesores y de alumnos, los recursos didácticos, la complejidad del tema a enseñar, la interacción que tienen los estudiantes con los profesores y la sociedad, entre otros factores.

Si esperamos que los alumnos expliquen los fenómenos naturales a partir de modelos científicos y usen evidencias en sus explicaciones se debe implementar el núcleo central de la propuesta didáctica de biología evolutiva durante todo el semestre, incluso durante todo el bachillerato para que el alumno se dé cuenta del contenido que aprendió y sea capaz de reconocer, analizar, interpretar y explicar un problema con base en modelos teóricos.

A partir de las diferencias entre la evaluación diagnóstica y la evaluación final se tienen resultados alentadores que muestran que la secuencia didáctica diseñada para el contenido de biología evolutiva permite que el alumno entienda, analice, relacione y use la información para proporcionar explicaciones de los fenómenos evolutivos a partir de modelos científicos.

Se espera que al realizar estas actividades el alumno desarrolle pensamiento científico y pueda ser capaz de actuar de manera informada, crítica y analítica; logre resolver problemáticas, argumentar sus posturas y proporcionar explicaciones sobre los fenómenos naturales fundamentadas en modelos científicos.

Finalmente, la secuencia didáctica es una propuesta que permite dar estructura y organización a los contenidos de biología evolutiva de los programas de estudio de Biología II y IV de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades y es un guía para profesores, investigadores y alumnos que deseen mejorar la enseñanza y el aprendizaje de estos contenidos.

Si la propuesta les resulta interesante pueden de construirla, adecuarla, ampliarla, complementarla y probarla pero respetando e incorporando en todo momento los conceptos fundamentales del modelo de evolución por variación y selección natural y los elementos de la argumentación científica escolar.

Bibliografía

- Acosta-Pérez, R. M.** (2014). *Evidencias de la evolución biológica: aprendiendo evolución desde la metodología científica*. Tesis para obtener el Título de Bióloga, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Adúriz-Bravo, A.** (2012). Competencias metacientíficas escolares dentro de la formación del profesorado de ciencias. En Badillo, E., García, L., Marbá, A. y Briceño, M. (Coords.). *El desarrollo de competencias en la clase de ciencias y matemáticas*, 43-67. Mérida: Universidad de los Andes.
- Agrawal, A.** (2001). Phenotypic plasticity in the interactions and evolution of species. *Science*, 294, 321-326.
- Alters, B. J. y Nelson, C. E.** (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56 (10), 1891-1901.
- Alvarez-Pérez, E.** (2015). *Conocimientos fundamentales de biología evolutiva: propuesta didáctica para educación secundaria*. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México
- Alvarez, E., Meinardi, E. y González-Galli, L.** (2010, octubre). *Zonas problemáticas de la biología evolutiva y su expresión en la didáctica*. Memorias IX Jornadas Nacionales IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Astolfi, J. P.** (1988). El tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos. Cortés Sánchez, T. (Trad.). *Revista Educación y Pedagogía*, 25: 151-171.

- Ayala, F. J.** (2011). *¿Soy un mono?* Editorial Ariel.
- Barker, D., Hales, C., Fall, C., Osmond, C., Phipps, K. y Clark, P.** (1993). Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus, hypertension and hyperlipidaemia (syndrome X): relation to reduced fetal growth. *Diabetología*, 36: 62-67.
- Bossdorf, O., Richards, C. L. y Pigliucci, M.** (2008). Epigenetics for ecologists. *Ecology Letters*, 11, 106-115.
- Blanco, P. y Díaz de Bustamante, J.** (2014). Argumentación y uso de pruebas: realización de inferencias sobre una secuencia de icnitas. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (2): 35-52.
- Boto, L.** (2012). Evolución reticulada. *Evolución*, 7 (2): 73-83.
- Campos H., M. A.** (1989). Construcción de la estructura metodológica. En Furlán, A. (Comp.), *Aportaciones a la didáctica de la Educación Superior* (36-59). México: ENEPI, UNAM.
- Chadwick, C. B.** (2001). La psicología de aprendizaje del enfoque constructivista. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 31 (4): 111-126.
- Chuang, H. C.** (2003). Teaching evolution: attitudes y strategies of educators in Utah. *The American Biology Teacher*, 65 (9): 669- 674.
- Coyne, Jerry A.** (2010). *¿Por qué la teoría de la evolución es verdadera?* Madrid, España: Editorial Crítica.
- Criado, P. A. M.** (1984). En torno al lenguaje científico. *CAUCE. Revista de Filología y su Didáctica*, 7: 7-28.
- Darwin, C.** (2009), [1859]. *El origen de la Especies por medio de selección natural*. De Zulueta, Antonio (Trad.). España: Editorial Catarata, Academia Mexicana de Ciencias, UNAM.

Dawkins, R. (2009). *The greatest show on earth: The evidence for evolution.*

Fabregat, J. (Trad.). United States of America: Editorial Free Press.

De Lella, C. (2003). Formación docente. El modelo hermenéutico-reflexivo y la

práctica profesional. *CRETAL*, 20-24.

Díaz-Barriga, A. (2013). Guía para la elaboración de una secuencia didáctica.

Consultado el 2 de Abril 2016 en:

<https://docs.google.com/file/d/0B1f1Bo0nFw4IUjlybWltZ3luMW8/edit?usp=saring>

Díaz-Barriga, F. (1997/2010) *Estrategias docentes para un aprendizaje*

significativo. (3ª Edición). México: Mc Hill Interamericana.

Díaz N., V. P. (2009). *Metodología de la investigación científica y bioestadística:*

para médicos, odontólogos y estudiantes de ciencias de la salud (2ª Ed.).

Santiago: RIL editores.

Díaz N., V. P., Calzadilla, N. A., López, S. H. (2004). Una aproximación al

concepto de hecho científico. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, 8:

03-16.

Dobzhansky, T., Ayala, F. J., Stebbins, G. L. y Valentine, J. W. (1980). *Evolución.*

Barcelona: Ediciones Omega.

Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2010). Establishing the norms of scientific

argumentation in classrooms, *Science Education*, 84 (3): 287-312.

Eder, M. L. y Adúriz-Bravo, A. (2008). La explicación en las ciencias naturales y

en su enseñanza: aproximaciones epistemológica y didáctica. *Revista*

Latinoamericana de Estudios Educativos, 4 (2): 101-133.

- Eldredge, N. y Gould, S.** (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. En Schoopf, T. J. M. *Model the paleobiology* (82-115). San Francisco: Freeman, Cooper.
- Fail, J.** (2008). A no-holds-barred evolution curriculum for elementary and junior high school students. *Evolution: Education and outreach*, 1, 56-64.
- Fernández, J. J. y Sanjosé, V.** (2007). Permanencia de ideas alternativas sobre evolución de las especies en la población culta no especializada. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 21, 129-149.
- Flores R., A. B.** (2005). *La socialización vista desde la perspectiva de Vigotsky: propuesta de un taller de socialización para maestros de educación básica*. Tesina para obtener el Título de Pedagoga, Universidad Pedagógica Nacional, México.
- Folguera, G. y González-Galli, L. M.** (2012). La extensión de la síntesis evolutiva y los alcances sobre la enseñanza de la teoría de la evolución. *Bio-grafía*, 5 (9), 4-18.
- Freeman, S. y Herron, J. C.** (2002). Las pruebas de la evolución. En Ménsua F., J. L. y Elena F., S. (Trad.), *Análisis evolutivo*. (2ª Ed., pp. 21-45). Madrid, España: Prentice Hall.
- Futuyma, D. J.** (2009). *Evolution*. (2ª Ed.). USA: Palgrave MacMillan.
- García-Méndez, J. V.** (2009). Metodologías de la práctica docente en Educación Superior. Núcleo problemático: técnicas didácticas. Texto libre.
- García-Méndez, J. V.** (2008). *Hacia un modelo pedagógico contemporáneo: proyectos de las comunidades ecosóficas de aprendizaje*. Tesis para obtener

el Grado de Doctor en Pedagogía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

García, R., Ayala, P. Perdomo, S. (2012). Epigenética: definición, bases moleculares e implicaciones en la salud y en la evolución humana. *Rev. Cienc. Salud*, 10 (1), 59-71.

Geraedts, C. L. y Boersma, K. Th. (2006). Reinventing natural selection. *International Journal of Science Education*, 8, 843-870.

Gilbert, S. F. (2005). *Biología del desarrollo*. Ferrán, J. L. (Trad.). (7a Ed.). Buenos Aires. Medica Panamericana.

Giordan, A. (1995). Los nuevos modelos de aprendizaje: ¿más allá del constructivismo? *Perspectivas*, XXV, I.

González-Arredondo, A. (2014). *Relación entre los modelos de endosimbiosis seriada y de selección natural: propuesta didáctica para la educación media superior*. Tesis para obtener el Título de Bióloga, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

González, C. F. 2009. *La evolución, de Darwin al genoma*. España: Editorial Cátedra de Divulgación de la Ciencia, Universidad de Valencia, PUV Publicaciones, CAM Obras Sociales.

González-Galli, L. M. (2016). En biología nada tiene sentido si no es a la luz de la teleología: implicancias del problema de la teleología para la enseñanza del modelo de evolución por selección natural. En Cuví, N., Sevilla, E., Ruiz, R. y Puig Samper, M. (Eds.), *Evolucionismo en América y Europa. Antropología, Biología, Política y Educación* (pp. 491-504). Ecuador: Ediciones Doce Calles.

- González-Galli, L. M.** (2011). *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*: Tomo 1. Tesis para obtener el Título de Doctor en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- González-Galli, L. M.** (2010). ¿Qué ciencia enseñar? En Meinardi, Elsa (Ed.), *Educación en ciencia* (pp. 59-94). Buenos Aires: Paidós. [a]
- González-Galli, L. M.** (2010). La teoría de la evolución. En Meinardi, Elsa (Ed.), *Educación en ciencia* (pp. 225-259). Buenos Aires: Paidós. [b]
- González-Galli, L. M.; Adúriz-Bravo, A. y Meinardi, E.** (2005). El modelo cognitivo de ciencia y los obstáculos en el aprendizaje de la evolución biológica. *Enseñanza de las Ciencias, número extra*. VII Congreso.
- González-Galli, L. M. y Meinardi, E.** (2016). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. En Cuví, N., Sevilla, E., Ruiz, R. y Puig Samper, M. (Eds.), *Evolucionismo en América y Europa. Antropología, Biología, Política y Educación* (pp. 4763-476). Ecuador: Ediciones Doce Calles.
- González-Galli, L. M. y Meinardi, E.** (2015). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural, en estudiantes de escuela secundaria de Argentina. *Cienc. Educ., Bauru*, 21 (1), 101-122.
- González-Galli, L. M. y Meinardi, E.** (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. El problema de la teleología. En *Bio.-grafía. Edición Extra Ordinaria. Memorias del I Congreso Nacional de investigación en Enseñanza de la Biología. VI Encuentro Nacional de*

Investigación en enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental. Colombia, 533-542.

González-Galli, L. M. y Meinardi, E. (2010). Revisión del concepto de obstáculo a partir de la investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. *En IX Jornadas Nacionales y IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología*, San Miguel de Tucumán, Buenos Aires, ADBIA.

González-Galli, L. M. y Meinardi, E. (2009). El pensamiento finalista como obstáculo epistemológico para la enseñanza del modelo darwiniano. *Enseñanza de las Ciencias. Actas del VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 0 (No. Extra): 1274-1276.

González-Galli, L. M.; Revel-Chion, A. y Mainardi, E. (2008). Actividades centradas en obstáculos para enseñar el modelo de evolución por selección natural. *Revista de Educación en biología*, 11 (1): 52-55.

Gould, S. J. (2004). La evolución como hecho y como teoría. En Gould, S. J. (Comp), *Gould obra esencial*. (pp. 101-109). Barcelona: Crítica.

Gould, S. y Eldredge, N. (1977). Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. *Paleobiology*, 3 (2): 115-151.

Guzmán-Sánchez, J. (2013). *Evolución biológica y biología evolutiva: epistemología y didáctica*. Tesis para obtener el Título de Biólogo, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

Hernández-Marroquín, V. R. (2011). *Tipos y causas de variación biológica: un análisis conceptual*. Tesis para obtener el Título de Biólogo, Facultad de

Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

Hernández, R., M. C.; Alvarez P., E. y Ruiz G., R. (2009). La selección natural: aprendizaje de un paradigma. *Teorema*, XXVIII (2), 107-121.

Jiménez Aleixandre, M. P. (2002). Aplicar la idea de cambio biológico: ¿por qué hemos perdido el olfato? *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 32, 48-55.

Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y eso de pruebas*. Barcelona, España: Graó.

Jiménez Aleixandre, M. P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencia: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las ciencias*, 21 (3): 359-370.

Jiménez, L. F. et al. (Comp). (2007). *Conocimientos fundamentales de biología*. Vol. II. México: Editorial Pearson Education.

Jorquera G., H., Acuña P., M. y Cifuentes L., L. (2008). Estudios de parentesco mediante marcadores de ADN: experiencia en la resolución de casos en los últimos seis años. *Rev. Med. Chile*, 136: 193-200.

Kampourakis, K. (2007). Students' preconceptions about evolution: How accurate is the characterization as "Lamarckian" when considering the history of evolutionary thought? *Science y Educations*, 16, 393-422.

Kardong, V. (2005). *An introduction to biological evolution*. New York: McGraw-Hill.

Lagos L., M., Poggi M., H. y Mellados S. C. (2011). Conceptos básicos sobre el estudio de paternidad. *Rev. Med. Chile*, 139, 542-547.

- Laland, K. N., Uller, T., Feldman, M. W., Sterelny, K., Müller, G. B., Moczek, A., Jablonka, E. y Odling-Smee, J.** (2015). The extended evolutionary synthesis: its structure, assumptions and predictions. *Proc. R. Soc. B.*, 282: 1-14.
- Laland, K. N., Uller, T., Feldman, M. W., Sterelny, K., Müller, G. B., Moczek, A., Jablonka, E., Odling-Smee, J., Wray, G. A., Hoekstra, H. E., Futuyma, D. J., Lenski, R. E., Mackay, T. F., Schluter, D. y Strassmann, J.** (2014). Does evolutionary theory need a rethink? Researchers are divided over what processes should be considered fundamental. *Nature*, 514: 161-164.
- Larrain, A. y Freire, P.** (2012). El uso del discurso argumentativo en la enseñanza de ciencias: un estudio exploratorio, *Estudios Pedagógicos*, 38 (2): 133-155.
- Lazcano-Araujo, A.** (2002), [1989]. *El origen de la vida: evolución química y evolución biológica*. (3ª Ed.). México, Trillas.
- Mayr, E.** (1998). *Así es la biología*. Ibeas, J. M. (Trad.). España: Editorial Debate.
- McNeill, K. L., Krajcik, J.** (2008). Inquiry and scientific explanation: Helping students use evidence and reasoning. En Luft, J., Bell, R. L., Gess-Newsome, J. (Eds.), *Science as inquiry in the secondary setting*, (pp. 121-134). Unites States. NSTA Press.
- McVaugh, N., Birchfield, J., Lucero, M. y Petrosino, A.** (2011). Evolution education: seeing the forest for the trees and focusing our efforts on the teaching of evolution. *Evolution Education Outreach*, 4, 286-292.
- Molina, M. E.** (2012). Argumentar en clases de ciencias naturales: una revisión bibliográfica. En *Actas III Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales*, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de la Plata, 553-564.

- Monroy-Farías, M.** (2009). El constructivismo y la educación. En Monroy-Farías, M.; Contreras, O. y Resatnik, O. (Eds.), *Psicología Educativa* (pp. 153-174). México: FES Iztacala.
- Moore, R., Cotner, S.** (2009). Rejecting Darwin: the occurrence y impact of creationism in high school biology classrooms. *The American Biology Teacher*, Online Publication. USA. 71 (2): 1-4.
- Moreira, M. A., Caballero, M. C. Rodríguez, M. L.** (1997). *Aprendizaje significativo: un concepto subyacente*. Rodríguez P., M. L. (Trad). Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España.
- Morrone, J.J. y Magaña, P.** (2009). *Evolución biológica. Una visión actualizada desde la revista ciencias*. México: Las prensas de Ciencias, UNAM.
- Moya, A.** (1989). *Sobre la estructura de la teoría de la evolución*. España: Editorial Anthropos. Promat, S. Coop. Ltda.
- Osborne, L; Erduran, S. y Simon, S.** (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science, JRST, 41, 994-1020.
- Pérez, G. y González-Galli, L.** (2016). La construcción de modelos robustos sobre la selección natural y la especiación. En Cuvi, N., Sevilla, E., Ruiz, R. y Puig Samper, M. (Eds.), *Evolucionismo en América y Europa. Antropología, Biología, Política y Educación* (pp. 477-490). Ecuador: Ediciones Doce Calles.
- Pérez-Ransanz, A. R.** (2000). *Kuhn y el cambio científico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pigliucci, M.** (2009). An extended synthesis for evolutionary biology. *Ann. N. Y. Acad. Sci*, 1168: 218-228. DOI: 10.1111/J. 1749-6632.2009.04578.X

- Pozo, J. I. y Gómez-Crespo, M. A.** (1998/2006). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico.* (5ª Reimpresión). España: Editorial Morata.
- Programas de Estudio de Biología I a IV.** Dirección General Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM. 2003. Impreso.
- Quammen, D.** (2004). ¿Se equivocó Darwin? No. Las pruebas de la evolución son arrolladoras. *Revista National Geographic en español, Noviembre*, 4-35.
- Quesada, A. J.** (2004/2007). *Didáctica de las ciencias experimentales.* (7ª Reimpresión) San José, Costa Rica: EUNED.
- Revel-Chion, A.** (2010). Hablar y escribir ciencias. En Meinardi, Elsa (Ed.), *Educación en ciencia* (pp. 163-190). Buenos Aires: Paidós.
- Revel-Chion, A. y Adúriz-Bravo, A.** (2014). La argumentación científica escolar. Contribuciones a una alfabetización de calidad, *Pensamiento Americano*, 7 (13), 113-122.
- Revel-Chion, A; Couló, A.; Erduram, S., Furman, M; Iglesia, P. y Adúriz-Bravo, A.** (2005). Estudios sobre la enseñanza de la argumentación científica escolar, *Enseñanza de las Ciencias, número extra* (8): 1-5.
- Revel-Chion, A. Meinardi, E. y Adúriz-Bravo, A.** (2014). La argumentación científica escolar: contribución a la comprensión de un modelo complejo de salud y enfermedad, *Ciën. Edu. Bauru*, 20 (4), 987-1001.
- Ruiz G., R; Alvarez P., E; Noguera S., R. y Esparza S., M.** (2012). Enseñar y aprender biología evolutiva en el siglo XXI. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*, 5 (9), 80-88.

- Ruiz G. R. y Ayala F. J.** (2008). El núcleo duro del darwinismo. En Llorente, J. (Comp.), *Fundamentos históricos de la biología* (pp. 455-481). México, D.F.: UNAM, Secretaría de Desarrollo Institucional, Facultad de Ciencias, Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial.
- Ruiz G., R. y Ayala, F. J.** (2002). De Darwin al DNA y el origen de la humanidad: la evolución y sus polémicas. México, Ed. FCE. Ediciones científicas universitarias.
- Ruiz, G. R. y Ayala, F. J.** (1998). *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*. México: Fondo de Cultura Económico.
- Ruiz, F; Tamayo, O. y Márquez, C.** (2003). La enseñanza de la argumentación en ciencias: un proceso que requiere cambios en las concepciones epistemológicas, conceptuales, didácticas y en la estructura argumentativa de los docentes, *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 1 (9), 29-52.
- Salinas, B.** (1990). Los profesores y la planificación de la enseñanza: ¿qué hago el lunes? *Cuadernos de pedagogía*, 184, 96-100.
- Sanders, M. y Ngxola, N.** (2009). Addressing teacher's concerns about teaching evolution, *Journal of Biological Education*, 43 (3): 121-128.
- Sardá, A. y Sanmartí, N.** (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto en las clases de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3): 405-422.
- SEP.** (2006). Ciencias. Educación Básica. Secundaria. Programa de Estudios. México
- Slingsby, D.** (2013). Charles Darwin, biological education and diversity: past, present and future, *Journal of Biological Education*, 43 (3): 99-100.

- Tidon, R. y Lewontin, R. C.** (2004). Teaching evolutionary biology. *Genetics and Molecular Biology*, 27 (1), 124- 131.
- Valero M., A. y Jardón B., L.** (2006). ¿Qué es la evolución biológica? ¿Cómo ves? *Diciembre*, 14-17.
- Van Dijk, E. M. y Reydon, T. A. C.** (2010). A conceptual analysis of evolutionary theory for teacher education. *Science and Education*, 19, 655–677.
- Van Dijk, E. M. y Kattmann, U.** (2009). Teaching evolution with historical narratives. *Evolution Education Outreach*, 2, 479-489.
- Vázquez, Á., Acevedo, J. A., Manassero, Ma. A. y Acevedo, P.** (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de razón técnica*, 4, 135-176.
- Viera, T.** (2003). El aprendizaje verbal significativo de Ausubel. Algunas consideraciones desde el enfoque histórico cultural. *Universidades* [en línea]. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2017] Disponible en:<<http://4www.redalyc.org/articulo.oa?id=37302605>> ISSN 0041-8935.
- Whitman, D. y Agrawal, A.** (2009). *What is phenotypic plasticity and why is it important?* In Whitman, D. y Ananthakrishnan (Ed.), *Phenotypic plasticity of insects* (pp. 1-63). Science Publishers.
- Zabel, J. y Gropengiesser, H.** (2011). Learning progress in evolution theory climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45 (3): 143-149.

ANEXOS**ANEXO 1. Muestra de estudio**

Muestra de estudio de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur.				
Semestre	Asignatura	Grupo	Turno	Folio
Tercero	Biología I	360 A	Vespertino	360A01 360A02 360A04 360A06 360A07 360A08 360A09 360A11 360A12 360A13 360A14 360A15 360A16 360A17
Cuarto	Biología II	460 A	Vespertino	460A02 460A03 460A06 460A08 460A10 460A12 460A19
		468 A	Mixto	468A01 468A02 468A04 468A06 468A07 468A11 468A13 468A14 468A15 468A16 468A17 468A18 468A21 468A23

				468A24
Sexto	Biología IV	654 A	Vespertino	654A01 654A02 654A03 654A04 654A06 654A07 654A08 654A10 654A12 654A13 654A14 654A18 654A19

Tabla 5. Total de alumnos de la muestra seleccionada para realizar la calibración de la propuesta didáctica de la propuesta didáctica de biología evolutiva.

ANEXO 2. Metodología didáctica

Eje curricular: Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades

Asignatura: Biología II

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

Tema: II. La evolución como proceso que explica la diversidad de los sistemas vivos.

Sesión: 1 “Argumentación científica escolar”

Duración: 120 minutos

Propósito: El alumno comprenda que la argumentación es una característica esencial de la labor científica y que es indispensable que aprenda a realizarla para entender y comunicar los contenidos científicos.

Objetivos:

Conceptual. Comprenda que argumentar en una clase de ciencias, significa elaborar un texto explicativo sobre los hechos del mundo natural.

Procedimental. Aprenda a elaborar textos explicativos; sea capaz de explicar diferentes fenómenos naturales y los comunique de manera oral y escrita.

Actitudinal. Valore la importancia de argumentar y comunicar las ideas en ciencias.

Contenidos	Actividades	Recursos	Interacciones ¹⁸	Sistematización
Elementos de la argumentación científica escolar (ACE).	El problema de los piojos de González-Galli y Meinardi, 2015.	Formato de evaluación diagnóstica.	Interactividades: Resolución al problema de los piojos.	Apertura (20 min) *Saludo y dinámica de presentación. *Evaluación diagnóstica. *Mención de los objetivos de aprendizaje.
¿Cómo elaborar una explicación a partir de los elementos de la ACE?	Ideas previas sobre la argumentación y la ACE.	Rúbrica de evaluación de la ACE. Letreros de los elementos de la ACE.	Elaboración de una explicación al problema de los piojos a partir de los elementos de la ACE.	Desarrollo (70 min) *Ideas previas sobre ¿qué es la argumentación?
Importancia de argumentar y comunicar en ciencias.	¿Cómo argumentar en una clase de ciencias? Reelaborando el problema de los piojos a partir de los elementos de la ACE. ¿Por qué es importante la argumentación en ciencia?	Texto: ¿Cómo argumentar en una clase de ciencias? *La prueba de paternidad. *Endosimbiosis seriada	Entre sujetos: En la indagación de los conocimientos previos de la argumentación y la ACE. Durante la exposición y modelización de los elementos de la ACE. En la retroalimentación e importancia de la ACE.	*Componentes de la argumentación científica escolar y su importancia. *Modelación: ¿Cómo argumentar en una clase de ciencias? *Reelaborando el problema de los piojos con los elementos de la ACE. Cierre (15 min) *Retroalimentación. *¿Qué elementos debe tener una explicación científica? ¿Por qué es importante la argumentación en ciencia?

Evaluación

Diagnóstica: Explicación de un caso de evolución adaptativa: el problema de los piojos de González-Galli y Meinardi, 2015.

Rúbrica de evaluación de la ACE.

Formativa: Explicación al problema de los piojos considerando los elementos de la ACE.

Rúbrica de evaluación de la ACE.

¹⁸ Se pueden presentar interactividades cuando el alumno interacciona con el mismo y con los recursos didácticos e interacciones entre sujetos cuando existe un diálogo y actividades entre el profesor y los alumnos o entre alumnos (Alvarez-Pérez, 2015: 141).

Eje curricular: Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades

Asignatura: Biología II

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

Tema: II. La evolución como proceso que explica la diversidad de los sistemas vivos.

Sesión: 2 “Teoría Darwin-Wallace y modelo de evolución por variación y selección natural MEVSEN”.

Duración: 120 minutos

Propósito: 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 comprendan que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo.

Objetivos:

Conceptual. Explica la teoría evolutiva formulada por Darwin-Walla a partir del Modelo de evolución por variación y selección natural.

Procedimental. Simula el proceso de selección natural con un caso hipotético.

Actitudinal. Reconozca que los contenidos biológicos son necesarios para explicar fenómenos naturales y para dar soluciones a problemáticas de la vida diaria.

Contenidos	Actividades	Recursos	Interacciones	Sistematización
Teoría evolutiva Darwin-Wallace.	Ideas previas sobre qué es una adaptación.	Presentación en Power Point de los conceptos fundamentales del MEVSEN.	Interactividades: En la construcción de la hoja de expertos.	Apertura (20 min) *Dinámica para formar equipos de trabajo.
Modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSEN).	Conociendo al MEVSEN. Simulación de la selección natural.	Hoja de expertos del MEVSEN.	En el análisis de la lectura del MESN.	*Mención de los objetivos de aprendizaje.
Simulación de la selección natural.	Texto: Modelo de evolución por selección natural (MESN) de González-Galli, 2010.	Tipos de ambiente y escarabajos de papel.	Entre sujetos: Durante la indagación de las ideas sobre adaptación.	*¿Qué es una adaptación? Desarrollo (60 min)
Importancia y valor social de los contenidos de biología evolutiva.	TGT del MEVSEN.	Texto: MESN. Tarjetas con las preguntas del TGT del MEVSEN.	En la exposición de los conceptos fundamentales del MEVSEN.	*Conceptos fundamentales del MEVSEN.
		Hojas de respuestas del TGT del MEVSEN.	Durante la simulación y la plenaria de la selección natural.	*Simulación de la selección natural.
		Pizarrón y plumones.	En el TGT del MEVSEN.	*Texto: Modelo de evolución por selección natural (MESN) de González-Galli, 2010.
				Cierre (25 min) *Dinámica del TGT para recapitular los conceptos del MEVSEN.

Evaluación

Formativa: Puntaje obtenido en la dinámica del TGT.

Sumativa: Resolución individual del cuestionario del TGT para emitir una calificación.

Eje curricular: Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades

Asignatura: Biología II

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

Tema: II. La evolución como proceso que explica la diversidad de los sistemas vivos.

Sesión: 3 “Evidencias de la evolución biológica y diferenciación y articulación de hecho, teoría y evidencia”

Duración: 120 minutos

Propósito: 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 comprendan que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo.

Objetivos:

Conceptual. Comprendan que las evidencias que han aportado diferentes disciplinas de la biología apoyan y confirman los argumentos del MEVSEN y muestran que la evolución biológica es un hecho contundente.

Procedimental. Aprendan a relacionar el hecho, la teoría y la evidencia en la explicación de diferentes fenómenos biológicos.

Actitudinal. Respeten la diversidad de ideas para la construcción del conocimiento.

Contenidos	Actividades	Recursos	Interacciones	Sistematización
Evidencias de la evolución biológica (EEB).	Construcción del rompecabezas de las EEB.	Presentación en Power point de los conceptos del MEVSEN.	Interactividades: En el análisis de la información de una de las EEB.	Apertura (20 min) *Retomar los conceptos de la sesión anterior.
Modelo de evolución por variación y selección natural.	Conociendo la diferencia y la relación entre: hecho, teoría y evidencia.	Fichas con información de las EEB.	En la elaboración de la explicación al problema de los peces, utilizando los elementos de la ACE y los conceptos fundamentales del MEVSEN.	*Mención de los objetivos de aprendizaje.
Diferencia y relación entre los conceptos: hecho, teoría y evidencia.	Texto: “El genotipo ahorrador”. El problema de los peces de González-Galli y Meinardi, 2015. Evaluación al profesor practicante.	Texto: “El genotipo ahorrador”. Formato de evaluación post-instruccional. Formatos de evaluación al profesor: Alumnos Supervisor	En la evaluación al profesor practicante. Entre sujetos: En el repaso de los conceptos vistos en las sesiones anteriores. En la exposición de las EEB en cada grupo de trabajo. Durante la exposición de la diferencia y la relación de los conceptos: hecho, teoría y evidencia. En la lectura “El genotipo ahorrador”.	Desarrollo (50 min) *Rompecabezas de las EEB. *Exposición de la diferencia y la relación entre los conceptos: hecho, teoría y evidencia. Cierre (35 min) *Texto: “El genotipo ahorrador” para integrar los conceptos del MEVSEN y los elementos de la ACE. *Evaluación post-instruccional. *Evaluación al profesor.

Evaluación

Sumativa: Explicación al problema de los peces considerando los elementos de la ACE y los conceptos del MEVSEN.
Rúbrica de evaluación de la ACE.

ANEXO 3. Secuencia didáctica de biología evolutiva

Sesión 1. “Argumentación científica escolar”

APERTURA (20 min)

*** Saludo y dinámica de presentación del profesor practicante y los alumnos.**

El profesor practicante menciona su nombre, los motivos por los que está dando clases en el grupo, la forma en que se va a trabajar y el uso de vídeo grabadora para tener materiales y evidencias de las sesiones.

Posteriormente, en el pizarrón se colocan los rótulos nombre, carrera que quiero estudiar y los colores de las fichas (verde, azul y rojo), para comenzar con la dinámica de presentación.

La dinámica consiste en colocar en una bolsa nueve fichas color verde, nueve fichas color azul y nueve fichas color rojo. Cada alumno toma una ficha, si sale una color verde el alumno tiene que mencionar su grupo favorito, si sale una color azul debe decir su hobby y si sale una color rojo debe decir un gusto extraño. Esta actividad se realiza con la intención de conocer al grupo.

***Evaluación diagnóstica para conocer qué es lo que saben los alumnos sobre los contenidos de biología evolutiva y de argumentación científica escolar.**

La evaluación consiste en elaborar una explicación al problema de los piojos que plantea un caso de evolución adaptativa, el cual se tomó de la investigación de González-Galli y Meinardi, 2015 (ANEXO 7).

Además se utiliza una rúbrica para evaluar los componentes incluidos en el texto explicativo que proporcionen los alumnos al problema de los piojos (ANEXO 8.1).

***Mención de los objetivos de aprendizaje de la sesión.**

Conceptual: Comprenda que argumentar en una clase de ciencias, significa elaborar un texto explicativo sobre los hechos del mundo natural.

Procedimental: Aprenda a elaborar textos explicativos. Sea capaz de explicar diferentes fenómenos naturales y los comunique de manera oral y escrita.

Actitudinal: Valore la importancia de argumentar y comunicar las ideas en ciencias.

DESARROLLO (70 min)

*** Ideas previas sobre ¿qué es la argumentación?**

Para conocer las ideas previas que los alumnos tienen sobre la argumentación, se realizará una lluvia de ideas para llegar a un consenso grupal sobre el significado de dicho concepto. La intención de utilizar la lluvia de ideas radica en que es una técnica didáctica dirigida que permite dar solución a una pregunta o a un problema planteado por el profesor y ayuda a conocer las capacidades y los conocimientos del grupo (García-Méndez, 2009: 21-22).

*** Componentes de la argumentación científica escolar y su importancia.**

Después de la lluvia de ideas sobre la argumentación, se mencionan los cinco componentes (teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias) de la argumentación científica escolar propuestos por Revel-Chion y Adúriz-Bravo (2014) y Revel-Chion, Meinardi y Adúriz-Bravo (2014). Así como su inclusión en la elaboración de textos explicativos científicos.

También se muestran las diferencias entre la argumentación científica y la argumentación que se realiza en otras disciplinas. También, se señala la importancia de esta habilidad en la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos científicos.

***Modelación ¿Cómo argumentar en una clase de ciencias?**

La argumentación que se enseña y se realiza en las clases de literatura u otras disciplinas es muy diferente de la que se elabora en el campo de la ciencia. Por lo tanto, es indispensable que los alumnos en formación aprendan a elaborar textos

que expliquen diferentes fenómenos naturales a partir de modelos teóricos de referencia.

Para enseñar a los alumnos cómo se debe argumentar en una clase de ciencias, se diseñó un texto que incluye contenido teórico del tema de la disciplina en cuestión y de los componentes de la argumentación científica escolar (ANEXO 9)

A partir de la propuesta de Revel-Chion y Adúriz-Bravo (2014) y Revel-Chion, Meinardi y Adúriz-Bravo (2014), es deseable que los componentes, teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias estén presentes en los textos explicativos que elaboran los alumnos en el área de ciencias.

***¿Cómo argumentar en una clase de ciencias? Reelaborando el caso de los piojos.**

Después de realizar la modelación de la argumentación científica escolar con el texto diseñado, se les pide a los alumnos que reelaboren una explicación para el problema de los piojos que se planteó en la evaluación diagnóstica (ANEXO 7).

Se espera que la explicación incluya los componentes de la argumentación científica escolar y en consecuencia sea más compleja que la explicación que elaboraron al inicio. Esta explicación, también será evaluada con la rúbrica de la evaluación diagnóstica (ANEXO 8.1).

CIERRE (15 min)

Para finalizar la sesión, los alumnos y el profesor realizarán una retroalimentación de lo visto en clase, resaltando los elementos que debe tener una explicación científica y la importancia de argumentar en ciencia.

Sesión 2. “Teoría Darwin-Wallace y modelo de evolución por variación y selección natural MEVSEN”

APERTURA (20 min)

***Dinámica para formar equipos de trabajo.**

El profesor tiene una bolsa con 30 tarjetas de diferentes colores (5 rosas, 5 moradas, 5 verdes, 5 azules, 5 naranjas y 5 amarillas) (ANEXO 10). Cada alumno tomará una tarjeta de la bolsa y posteriormente todos los alumnos que tengan la tarjeta con el mismo color formaran un equipo. La dinámica se repetirá para los colores restantes, al final habrá seis equipos con cinco integrantes cada uno, los cuales trabajaran de manera cooperativa durante las dos sesiones. La intención de formar grupos de trabajo esporádicos se realiza para fomentar el diálogo, la resolución de problemas, la convivencia y la cooperación entre los alumnos para alcanzar un objetivo individual (aprender) y uno grupal (ayudar al otro a aprender). Es decir, el objetivo del grupo se completa hasta que todos los integrantes entendieron y terminaron la tarea (Donaire *et al.*, 2006: 1-3, 9-10).

***Mención de los objetivos de aprendizaje de la sesión.**

CONCEPTUAL: Explica la teoría evolutiva formulada por Darwin-Wallace a partir del Modelo de Evolución por Variación y Selección Natural.

PROCEDIMENTAL: Simula el proceso de selección natural con un caso hipotético.

ACTITUDINAL: Reconozca que los contenidos biológicos son necesarios para explicar fenómenos naturales y para dar soluciones a problemáticas de la vida diaria.

***¿Qué es una adaptación?**

Mediante una exposición-discusión se presentan tres casos de adaptación (cactáceas, insectos espina y pez linterna) (ANEXO 11). El objetivo de esta actividad es construir el concepto de adaptación a partir de los conocimientos previos de los alumnos y contrastarlo con el significado del concepto propuestos por el MEVSEN.

En el modelo de exposición-discusión el maestro ayuda a los alumnos a comprender cuerpos organizados de conocimientos, a retener y a comprender la información, a desarrollar un pensamiento de alto grado, a construir esquemas y a relacionar sus conocimientos previos con los nuevos aprendizajes. El panorama general del modelo se basa en: 1) identificar los temas y los objetivos de aprendizaje, 2) realizar la exposición de la información, 3) supervisar la comprensión de los contenidos e 4) integrar el conocimiento previo con el nuevo (Eggen y Kauchak, 2014, 414, 419 - 420).

DESARROLLO (60 min)

*** Conceptos fundamentales del MEVSEN.**

Mediante una exposición-discusión se presentan los conceptos fundamentales del Modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSEN). Además, se le proporciona a cada alumno una “hoja de expertos” que tiene los conceptos fundamentales del MEVSEN, los cuales deben ser completados durante la clase.

La “hoja de expertos” se utiliza en la estrategia de “Rompecabezas” para enseñar cuerpos organizados de conocimientos en la que cada alumno se hace especialista en subsecciones de un tema y enseña esas subsecciones a sus compañeros (Eggen y Kauchak, 2014: 143-146). En este caso, se hizo una adaptación a la “hoja de expertos”; no se trabajará en grupos, ya que el aprendizaje del MEVSEN requiere primero de un trabajo individual con el objetivo que cada alumno sea experto en el tema. Por lo tanto, servirá de control para el profesor y guía para los alumnos (ANEXO 12).

***Simulación de la selección natural.**

Mengascini y Menegaz en 2005 presentaron una propuesta didáctica para abordar el concepto de cambio evolutivo en las poblaciones de *Biston betularia* trabajando con las concepciones alternativas y de esa manera llegar a un mejor aprendizaje.

Para este juego de simulación, se sigue la dinámica y las reglas de la primera parte del juego establecida por Mengascini y Menegaz, pero haciendo modificaciones¹⁹ al mismo. Es decir, en lugar de utilizar a *Biston betularia* se utiliza a los escarabajos del género *Eurysternus*, se conserva al depredador que es un ave, pero en este caso es el pájaro ardilla y los tableros en lugar de simular árboles con líquenes y árboles con hollín, simulan el ambiente del bosque de pino-encino en condiciones de humedad y en condiciones de sequía (ANEXO 13).

La dinámica del juego es la siguiente:

Tableros que representen el ambiente.

Fichas que representen a los escarabajos.

Jugadores que representen a los depredadores (pájaro ardilla) y a los naturalistas encargados de registrar el proceso.

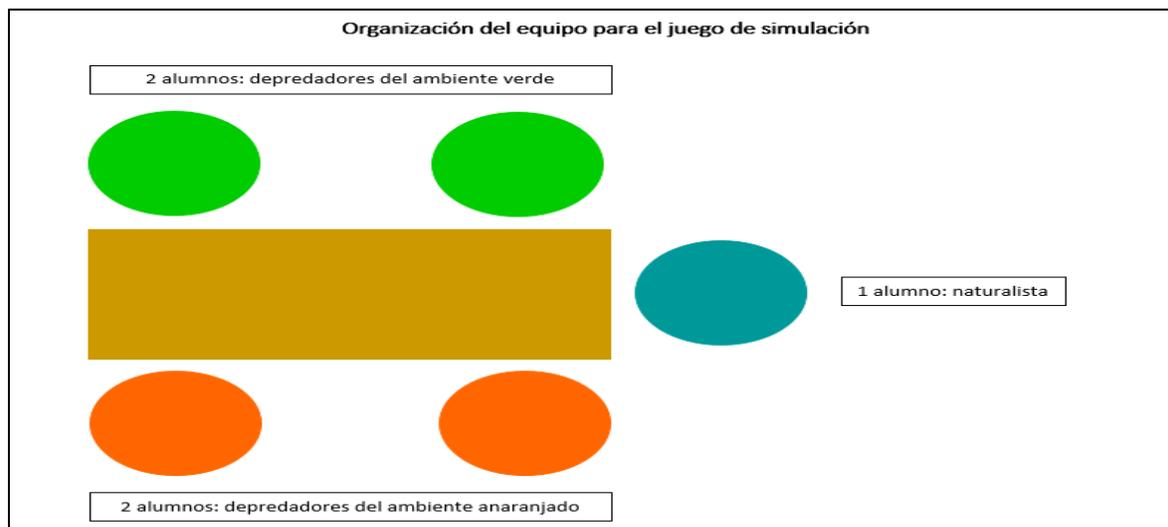


Fig. 1. Para el juego de simulación, el equipo debe elegir a dos compañeros para que sean los depredadores del ambiente verde, dos compañeros que sean los depredadores del ambiente anaranjado y el compañero restante será el naturalista. Esta asignación de roles se debe cumplir en todos los equipos.

¹⁹ Las modificaciones se realizaron por razones disciplinares. Es decir, en la propuesta de Mengascini y Menegaz sugieren representar a las polillas con cartones blancos y negros con los cuales se trabajaran conceptos de “variabilidad poblacional” y “variabilidad genética”. Sin embargo, las fichas no muestran claramente la variación que existe en la población de *Biston betularia*. Por esta razón y al ser la variación un concepto fundamental para enseñar y aprender el MEVSEN se decidió cambiar las fichas blancas y negras por los escarabajos, así como los tableros que representan el ambiente.

Los tableros están hechos de cartulina y son de dos colores, representando ambientes diferentes: árboles con ramas verdes y árboles con ramas secas. Los escarabajos están hechos del mismo material que los tableros y hay de color verde y anaranjado (ANEXO 13).

Para el juego se necesitan poblaciones de 10 escarabajos, 5 de color verde y 5 de color anaranjado, en cada tipo de ambiente (Mengascini y Menegaz, 2005: 405-406).

Las aves pasan al tablero color verde, realizan dos vuelos alrededor del tablero y cazan un escarabajo por cada vuelo, de igual forma las dos aves restantes pasan al tablero anaranjado y siguen la misma dinámica. En esta actividad ningún equipo puede ver lo que sucede en el tablero que no le corresponde y se deben cazar cuatro escarabajos por tablero, dando un total de ocho escarabajos por equipo (Mengascini y Menegaz, 2005: 405-406).

Posteriormente, las aves entregan a los naturalistas los escarabajos capturados y entre todos deberán contabilizar y caracterizar a los ejemplares. Los resultados de todos los equipos se presentan en una plenaria y se evidencia que hay dos tipos de resultados:

- 1) Mayor cantidad de escarabajos verdes.
- 2) Mayor cantidad de escarabajos anaranjados.

Estos resultados se deben a que los tableros que representan los ambientes son de diferente color. Se solicita a los jugadores que propongan explicaciones a este hecho antes de mostrar que las poblaciones originales en todos los casos eran iguales, entregando a los alumnos las fichas que quedaron en el tablero. Se anotan y discuten las respuestas (Mengascini y Menegaz, 2005: 406-407).

Se espera que la explicación se dé a través de las diferencias en los medios (tableros), que los naturalistas aún no han visto y las aves no han podido comparar, ya que solo vieron el tablero que les tocó en el juego (Mengascini y Menegaz, 2005: 406-407).

Lo que se muestra en el juego de simulación es:

- a) Todos los escarabajos son de la misma población.
- b) Las poblaciones temporales son parte de la misma especie de escarabajos.
- c) La población es la unidad de análisis en evolución.
- d) El color de los escarabajos está determinado genéticamente (Mengascini y Menegaz, 2005: 407).

El juego de simulación permite trabajar la noción de modelo (tableros, fichas, reglas del juego) como representación simplificada y esquematizada de una parte del sistema complejo que se quiere estudiar, con una escala adecuada para su tratamiento en el aula (Mengascini y Menegaz, 2005: 415).

El objetivo de que los alumnos realicen el juego de simulación permitirá hacer un análisis reflexivo de los conocimientos previos, la revisión y aplicación de los conocimientos vistos durante la clase y la formulación de explicaciones (Mengascini y Menegaz, 2005: 403).

*** Lectura: Modelo de Evolución por Selección Natural (MESN).**

Se repartirá el texto del MESN, tomado de González-Galli (2010), a todos los integrantes de cada equipo. Cada alumno leerá la información y hará anotaciones de lo más importante (ANEXO 14). El objetivo de la lectura del MESN es que los alumnos reafirmen los conceptos que se vieron en la exposición del MEVSEN y en la simulación de la selección natural.

CIERRE (25 min)

***Dinámica del TGT para recapitular los conceptos del MEVSEN.**

Después de realizar las actividades: 1) Exposición del MEVSEN, 2) simulación de la selección natural y 3) lectura del MESN, comienza el torneo. El objetivo de cada equipo, es que todos sus integrantes comprendan los conceptos que se enseñaron en las actividades anteriores.

La técnica del TGT consiste en:

Un juego de 12 fichas. Cada ficha con una pregunta relacionada con los contenidos vistos en la sesión. (ANEXO 15).

Una hoja de respuestas. El profesor es el único que tiene el material para hacer uso de él en caso de que ningún equipo conteste correctamente (ANEXO 16).

El torneo se realiza en dos tiempos, cada uno con dos rondas como se describe a continuación:

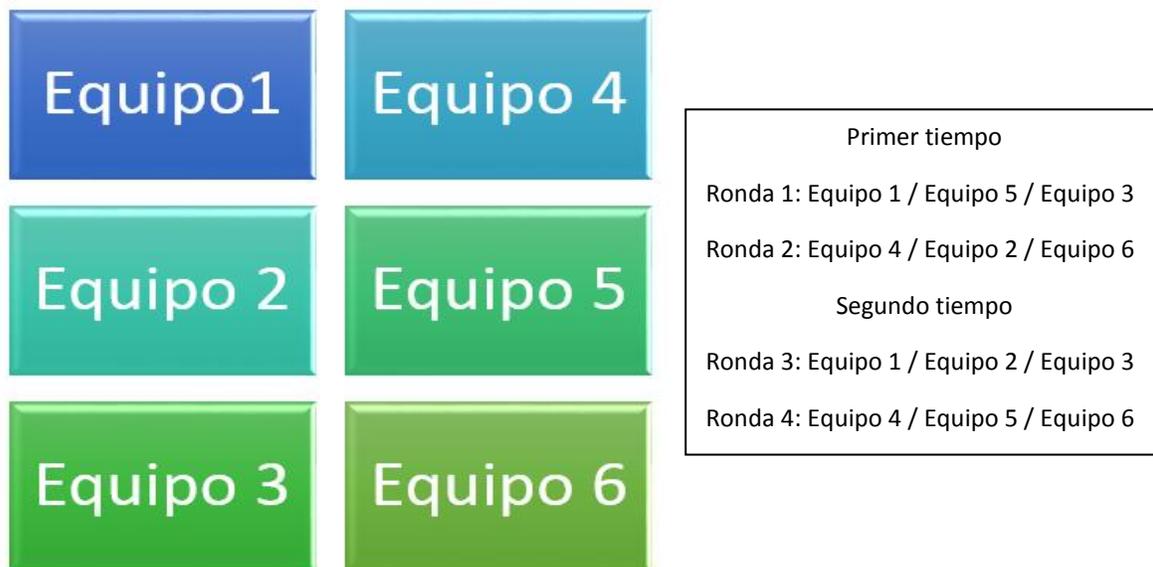


Fig. 2. Distribución de las mesas de trabajo.

Dinámica:

En el primer tiempo, los integrantes de cada equipo eligen un representante para participar con dos compañeros de los equipos de la ronda en turno.

En la ronda uno y dos, ningún compañero del equipo puede ayudar al representante. Cada alumno toma una ficha de la bolsa, lee la pregunta y la responde.

Si la pregunta es:

Correcta. Gana cuatro puntos.

Incorrecta. Los alumnos que participan en la ronda pueden refutar la respuesta. Si contestan correctamente, se roban los cuatro puntos.

Incompleta. Si a la respuesta que proporciona el alumno le falta un elemento importante, un alumno de otro equipo puede completar la respuesta y se asignan dos puntos a cada equipo.

En el segundo tiempo, los integrantes de cada equipo pueden cambiar de representante o continuar con el que eligieron al inicio del juego. En las rondas tres y cuatro los compañeros de equipo pueden ayudar al representante.

Cada equipo dispone de un minuto para discutir y dar la respuesta correcta. La dinámica de toma de fichas, lectura y respuestas continua en estas dos rondas.

El torneo finaliza cuando se acaban todas las preguntas. El equipo ganador, será el que acumule más puntos.

Utilizar el juego en la enseñanza de contenidos que son complejos permite facilitar y dinamizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de cada alumno y del grupo. El juego sitúa a los estudiantes en un contexto diferente al que viven todos los días en el aula, genera un buen clima áulico en el que los alumnos están motivados y existe mayor interacción, además permite la socialización, asumir roles y responsabilidades, así como aceptar y seguir normas (Cortés, 2008: 46-49, 51-54).

Sesión 3. “Evidencias de la evolución biológica y diferenciación y articulación de hecho, teoría y evidencia”

APERTURA (20 min)

***Retomar los conceptos de la sesión anterior.**

***Mención de los objetivos de aprendizaje.**

CONCEPTUAL: Comprendan que las evidencias que han aportado diferentes disciplinas de la biología apoyan y confirman los argumentos del MEVSEN y muestran que la evolución biológica (EB) es un hecho contundente.

PROCEDIMENTAL: Aprendan a relacionar el hecho, la teoría y la evidencia en la explicación de diferentes fenómenos biológicos.

ACTITUDINAL: Respeten la diversidad de ideas para la construcción del conocimiento.

DESARROLLO (50 min)

*** Rompecabezas de las evidencias de la evolución Biológica (EEB).**

La dinámica del rompecabezas se utiliza para enseñar cuerpos organizados de conocimientos en la que cada alumno se hace especialista en subsecciones de un tema y enseña cada subsección a sus compañeros (Eggen y Kauchak, 2014: 143-146).

En el primer momento de la dinámica, cada alumno lee la información que se le asignó y la estudia. El objetivo es que cada alumno se haga especialista en el subtema que se le asignó (ANEXO 17).

Después se hacen grupos de expertos en los que se reúnen los alumnos que tienen la misma información con el objetivo de aclarar dudas, ampliar la información con los conocimientos previos y con la información que se les proporcionó. Posteriormente, cada experto regresa a su grupo original y comparte la información

que tiene con todos sus compañeros. El objetivo es que todos los integrantes del equipo sean expertos en el tema de las EEB.

Al final de la dinámica, el profesor coloca rótulos en el escritorio con conceptos importantes de las EEB (ANEXO 18). Se enumeran los equipos del uno al seis y se asigna una evidencia de la siguiente forma:

1-Molecular

3-Anatómica

5-Biogeográfica

2- Embriología

4- Paleontológica

6-SN en acción

Posteriormente, un representante de cada equipo pasa al pizarrón a colocar los conceptos importantes debajo de la evidencia que se le asignó, así como conceptos que se comparten entre evidencias.

***Diferencia y relación entre hecho, teoría y evidencia.**

Mediante una exposición discusión se muestra la diferencia entre los conceptos hecho, teoría y evidencia, así como la relación y su importancia en la construcción de explicaciones científicas.

CIERRE (35 min)

***Lectura “El genotipo ahorrador” para integrar los conceptos del MEVSEN y los elementos de la ACE.**

El texto explica un fenómeno natural (adaptación) a partir del MEVSEN, se aportan evidencias para confirmar el fenómeno y respaldar los argumentos del modelo teórico. Además la explicación está estructurada considerando los cinco componentes de la ACE (ANEXO 19).

Con este texto se revisan los conceptos fundamentales del MEVSEN, la diferencia y la relación entre el hecho, la teoría y la evidencia, así como los elementos de la ACE.

***Evaluación post-instruccional.**

Para la evaluación post-instruccional se utiliza el problema de los peces de González-Galli y Meinardi, 2005. En esta evaluación, los alumnos tendrán que explicar a partir de modelos teóricos y evidencias el fenómeno que se presenta (ANEXO 20). Al igual que en la evaluación diagnóstica, se utilizará una rúbrica para evaluar el texto explicativo que proporcionen los alumnos (ANEXO 8).

*Evaluación del profesor practicante.

- Alumnos (ANEXO 21).
- Profesor (ANEXO 22).

ANEXO 4. Explicaciones a casos de evolución adaptativa

Explicaciones a casos de evolución adaptativa				
Folio	Respuesta Pre	Tipo de respuesta	Respuesta Post	Tipo de respuesta
360A01	Los piojos se hacen más fuertes y sobreviven. Crean una inmunidad o adaptación.	TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
360A02	Mala calidad de los insecticidas, aunados a la interrupción del tratamiento.	RCL	Desarrollan una mutación para defenderse.	RCL
360A04	Los piojos mutan para adaptarse al medio. El tratamiento interrumpido propicia que mutaciones y el desarrollo de la inmunidad.	TSC/RCL	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
360A06	Los piojos son más resistentes y el insecticida no tiene efecto,	TSC/RCL	Ante la presencia de depredadores, los peces desarrollan espinas. Si el	RCL/RCI

	debido a su mala calidad y al tratamiento interrumpido.		medio cambia, las especies también.	
360A07	Tratamiento incompleto propicia una mutación que los hace resistentes e inmunes.	RCL	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
360A08	Los piojos se acostumbran a los insecticidas debido a que no se completa el tratamiento.	RCL	Ante las condiciones cambiantes del ambiente, surgió una mutación que les permitió adaptarse.	RCL
360A09	Los piojos han desarrollado inmunidad. Se han adaptado al insecticida.	TSC	Las espinas surgieron por mutación y esto permitió que se adaptaran.	RCL
360A11	Los piojos mutan y se hacen resistentes al insecticida debido al mal tratamiento.	TSC	Surgimiento de variación ventajosa por mutación.	RCL
360A12	Los piojos desarrollan una adaptación a los insecticidas.	TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL

360A13	Los piojos han creado resistencia al insecticida por un tratamiento inadecuado.	TSC	Surgimiento de una mutación permite defenderse de los depredadores.	RCL
360A14	Los piojos desarrollaron inmunidad.	TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
360A15	Los piojos crean inmunidad al insecticida, ya que reconocen o se acostumbran a las sustancias.	TSC/RCI	Ante la presencia de depredadores los peces evolucionaron y desarrollaron espinas para protegerse.	RCL/TSC
360A16	Los piojos se adaptan y crean anticuerpos contra el insecticida.	TSC	Variación favorable presente en la población. Debido al aumento de depredadores, aumentan los peces con espinas.	RCL
360A17	Los piojos se adaptan al insecticida y su sistema inmunológico se fortalece.	TSC	Ante la presencia de depredadores, los peces desarrollan espinas para defenderse.	RCL/RCI

460A02	Los piojos se han vuelto inmunes.	TSC/RCI	Explicación cercana al MEVSEN. Característica para sobrevivir.	HÍBRIDO: SELECCIONAL Y TSC
460A03	Evolucionan para mejorar.	TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
460A06	Aprendieron a sobrevivir y se adaptaron.	RCI	Supervivencia debida a variación. Un evento determina qué variante va a beneficiarse.	RCL
460A08	Los piojos se adaptaron.	RCI	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
460A10	Evolucionaron y desarrollaron inmunidad.	TSC/RCI	Explicación cercana la MEVSEN.	SELECCIONAL
460A12	Evolucionaron y se volvieron inmunes.	TSC/RCI	Nueva variación surge por mutación. Desde el nacimiento surge y se hereda la mutación.	RCL/TSC

460A19	Los piojos han desarrollado inmunidad.	TSC/RCI	Desarrollo de espinas para sobrevivir. Característica surge a partir de una mutación para adaptarse al ambiente.	RCL
468A01	El ser humano transmite los genes, mediante la sangre, al piojo para mejorar su población.	TSC	Variación favorable en la población permite sobrevivir ante la presencia de depredadores.	RCL
468A02	Cambios ambientales provocan que evolucionen y se hagan resistentes.	RCL/TSC	Ante la presencia de depredadores, los peces desarrollaron espinas para defenderse.	RCL
468A04	Se adaptaron a los insecticidas y crearon una protección.	TSC	Ante la presencia de depredadores, los peces desarrollaron espinas para defenderse.	RCL
468A06	Modifica sus características para sobrevivir al ambiente. La exposición constante al	RCL/RCI	Ante la presencia de depredadores, los peces	RCL

	insecticida propicia el desarrollo de inmunidad.			desarrollaron espinas para defenderse.	
468A07	La exposición constante al insecticida propicia el desarrollo de inmunidad.	RCI/TSC		Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
468A11	La exposición constante al insecticida propicia la adaptación y el desarrollo de resistencia.	RCI/TSC		Explicación cercana al MEVSEN.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/RCL
468A13	Los piojos son más fuertes, se volvieron inmunes.	TSC		Variación genética debida a las condiciones ambientales.	RCL
468A14	La exposición constante al insecticida propicia la adaptación.	TSC		Las especies se modifican a través de la adaptación.	TSC
468A15	Han desarrollado anticuerpos y hay transferencia de genes.	TSC		Explicación cercana al MEVSEN. Ante la presencia de depredadores, los peces desarrollan espinas.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/RCL

468A16	La exposición constante al insecticida propicia la adaptación y el desarrollo de resistencia.	RCI/TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
468A17	La exposición constante al insecticida propicia la adaptación y el desarrollo de resistencia.	RCI/TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
468A18	Ante las condiciones del ambiente, los piojos desarrollan resistencia.	RCL/TSC	Desarrollan las espinas contra los depredadores.	RCL
468A21	Se adaptan al medio y se hacen resistentes.	TSC	Variación favorable en la población permite sobrevivir ante la presencia de depredadores.	RCL
468A23	Cada insecticida tiene efectos diferentes en cada persona.	RCL	Variación favorable en la población permite sobrevivir	RCL

			ante la presencia de depredadores.	
468A24	Los piojos evolucionan y se hacen resistentes, ya que desarrollaron un mecanismo de defensa.	TSC	Existen cambios que permiten adaptarse al medio.	RCL
654A01	Los piojos se adaptaron.	TSC	Los peces se adaptaron.	TSC
654A02	Explicación cercana al MEVSEN. Al no seguir el tratamiento correctamente, el piojo se fortalece.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL
654A03	Explicación cercana al MEVSEN. Los piojos se hacen resistentes.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/ TSC	La variación permite la supervivencia.	RCL
654A04	Los piojos evolucionan hasta desarrollar inmunidad.	TSC	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL

654A06	Algunos piojos sobreviven y heredan sus genes haciendo inmune a los descendientes.	TSC	Los peces se adaptaron.	TSC
654A07	Los piojos han adquirido genes para adaptarse y sobrevivir.	TSC	Una mutación propició que los peces se adaptaran y heredaran esa característica a sus descendientes.	TSC/RCL
654A08	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL	Actúo la selección natural y se heredan las características.	TSC/RCL
654A10	Pueden tolerar el nuevo ambiente debido a la adaptación.	RCL	Presión ambiental propicia el desarrollo de espinas. Por lo tanto, son los que prevalecen.	RCL
654A12	Los piojos desarrollaron inmunidad debido a la baja calidad de los insecticidas.	TSC	Pérdida y surgimiento de una variación contra los depredadores.	RCI
654A13	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL

654A14	Se adaptan al insecticida y los descendientes nacen inmunes.	TSC	Ante la presencia de depredadores, desarrollaron un mecanismo de defensa.	RCL
654A18	Algunos piojos sobreviven y heredan sus genes haciendo inmunes a los descendientes.	TSC	Ante la presencia de depredadores, desarrollaron un mecanismo de defensa.	RCL
654A19	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL	Explicación cercana al MEVSEN.	SELECCIONAL

Tabla 7. Se muestran los resultados del análisis del discurso que se realizó a las explicaciones sobre los casos de evolución adaptativa en los cuatro grupos y se evidencian los principales obstáculos epistemológicos, así como las explicaciones cercanas al modelo científico.

ANEXO 5. Componentes de la argumentación científica escolar en explicaciones de casos de evolución adaptativa

Componentes de la argumentación científica escolar en explicaciones de casos de evolución adaptativa

Folio	Respuesta Pre (Elementos de la argumentación científica)	Argumentación científica escolar (puntos)	Respuesta Pre (Elementos de la argumentación científica)	Argumentación científica escolar (puntos)
360A01	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	6	Teórico, lógico, retórico y evidencias.	8
360A02	Lógico, pragmático y retórico.	3	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4.5
360A04	Teórico, lógico y retórico.	3	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	8.5
360A06	Lógico y retórico.	2.5	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	5.5
360A07	Teórico y lógico.	2	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	8.5

360A08	Lógico.	1	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	5.5
360A09	Lógico, retórico y evidencias	3	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	6
360A11	Teórico y retórico.	2	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4.5
360A12	Lógico.	1	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5
360A13	Teórico, lógico y retórico.	3.5	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5.5
360A14	Teórico.	1	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	7.5
360A15	Teórico y lógico.	2	Teórico y evidencias.	2
360A16	Lógico.	1	Teórico, lógico y retórico.	3
360A17	Lógico y evidencias.	2	Teórico, lógico y retórico.	3

460A02	Lógico y pragmático.	2	Teórico, lógico y retórico.	3
460A03	Lógico.	1	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5.5
460A06	Ninguno.	0	Teórico y lógico.	2
460A08	Ninguno.	0	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	6.5
460A10	Ninguno.	1	Teórico, lógico y retórico.	4
460A12	Lógico.	0	Teórico, lógico y retórico.	3
460A19	Ninguno.	0	Teórico, lógico, retórico y evidencias.	4
468A01	Teórico y lógico.	2	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5
468A02	Teórico y lógico.	2	Teórico y lógico.	2

468A04	Ninguno.	0	Teórico, lógico y retórico.	3
468A06	Lógico y retórico.	2	Teórico, lógico y retórico.	3
468A07	Lógico y retórico.	2	Teórico, lógico y retórico.	3
468A11	Lógico y retórico.	2	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4.5
468A13	Ninguno.	0	Ninguno.	0
468A14	Ninguno.	0	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	5
468A15	Lógico y retórico.	2	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	4.5
468A16	Teórico, lógico y retórico.	3	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	4.5
468A17	Ninguno.	0	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	4.5

468A18	Lógico y retórico.	2	Lógico, pragmático y retórico.	3
468A21	Teórico, lógico y retórico.	3	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4.5
468A23	Lógico y retórico.	2	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4.5
468A24	Teórico, lógico y retórico.	3	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5
654A01	Lógico, retórico y evidencias.	3	Lógico, pragmático y retórico.	3
654A02	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4.5	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5.5
654A03	Teórico, lógico y pragmático.	3	Teórico, lógico y pragmático.	3.5
654A04	Lógico y pragmático.	2	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	6
654A06	Teórico, lógico y pragmático.	3	Teórico, lógico y pragmático.	3

654A07	Lógico.	1	Lógico y pragmático.	2
654A08	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5	Teórico.	1
654A10	Teórico, lógico y pragmático.	3	Teórico, lógico y pragmático.	3
654A12	Lógico, pragmático y retórico.	3	Lógico y pragmático.	2
654A13	Teórico, lógico y pragmático.	3	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	4
654A14	Lógico y pragmático.	2	Teórico, lógico y pragmático.	3
654A18	Teórico, lógico y pragmático.	3	Lógico, pragmático y retórico.	3
654A19	Teórico, lógico y pragmático.	4	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	5

Tabla 8. Combinación de componentes de la argumentación científica escolar en las explicaciones a los casos de evolución adaptativa de los cuatro grupos de investigación y su puntaje de acuerdo a las especificaciones de la rúbrica de evaluación.

ANEXO 6. Diferenciación y articulación de los conceptos, hecho, teoría y evidencia en las explicaciones a casos de evolución adaptativa

Diferenciación y articulación de los conceptos hecho, teoría y evidencias en las explicaciones a casos de evolución adaptativa

Folio	Análisis del discurso (Pre)	Argumentación científica escolar (Pre)	Hecho, modelo teórico y evidencias (pre)	Análisis del discurso (Post)	Argumentación científica escolar (Post)	Hecho, modelo teórico y evidencias (post)
360A01	TSC	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencia.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencia.
360A02	RCL	Lógico, pragmático y retórico.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.

360A04	TSC/RCL	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencia.
360A06	TSC/RCL	Lógico y retórico.	Hecho.	RCL/RCI	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias.
360A07	RCL	Teórico y lógico.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias.
360A08	RCI	Lógico.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias.
360A09	TSC	Lógico, retórico y evidencias	Hecho, modelo	RCL	Teórico, lógico, pragmático,	Hecho, modelo

			teórico y evidencias.		retórico y evidencias.	teórico y evidencias.
360A11	TSC	Teórico y retórico.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
360A12	TSC	Lógico.	Hecho.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
360A13	TSC	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
360A14	TSC	Teórico.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho y modelo teórico.
360A15	TSC/RCI	Teórico y lógico.	Hecho y modelo teórico.	RCL/TSC	Teórico y evidencias.	Hecho, modelo

						teórico y evidencias.
360A16	TSC	Lógico.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
360A17	TSC	Lógico y evidencias.	Hecho y evidencias.	RCL/RCI	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
460A02	TSC/RCI	Lógico y pragmático.	Hecho.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/ TSC	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
460A03	TSC	Lógico.	Hecho.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
460A06	RCI	Ninguno.	Ninguno.	RCL	Teórico y lógico.	Hecho y modelo teórico.

460A08	RCI	Ninguno.	Ninguno.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
460A10	TSC/RCI	Ninguno.	Ninguno.	SELECCIONAL	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
460A12	TSC/RCI	Lógico.	Hecho.	RCL/TSC	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
460A19	TSC/RCI	Ninguno.	Ninguno	RCL	Teórico, lógico, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias
468A01	TSC	Teórico y lógico.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.

468A02	RCL/TSC	Teórico y lógico.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico y lógico.	Hecho y modelo teórico.
468A04	TSC	Ninguno.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
468A06	RCL/RCI	Lógico y retórico.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
468A07	RCI/TSC	Lógico y retórico.	Hecho.	SELECCIONAL	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.
468A11	RCI/TSC	Lógico y retórico.	Hecho.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/ RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
468A13	TSC	Ninguno.	Hecho.	RCL	Ninguno.	Hecho.
468A14	TSC	Ninguno.	Hecho.	TSC	Teórico, lógico, pragmático,	Hecho, modelo

					retórico y evidencias.	teórico y evidencias.
468A15	TSC	Lógico y retórico.	Hecho.	HÍBRIDO: SELECCIONAL/ RCL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias.
468A16	RCI/TSC	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias.
468A17	RCI/TSC	Ninguno.	Hecho.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático, retórico y evidencias.	Hecho, modelo teórico y evidencias.
468A18	RCL/TSC	Lógico y retórico.	Hecho.	RCL	Lógico, pragmático y retórico.	Hecho.

468A21	TSC	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
468A23	RCL	Lógico y retórico.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
468A24	TSC	Teórico, lógico y retórico.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
654A01	TSC	Lógico, retórico y evidencias.	Hecho y evidencias.	TSC	Lógico, pragmático y retórico.	Hecho.
654A02	HÍBRIDO: SELECCIONAL/ TSC	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
654A03	HÍBRIDO: SELECCIONAL/ TSC	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.

654A04	TSC	Lógico y pragmático.	Hecho.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
654A06	TSC	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.	TSC	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.
654A07	TSC	Lógico.	Hecho.	TSC/RCL	Lógico y pragmático.	Hecho.
654A08	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.	TSC/RCL	Teórico.	Hecho y modelo teórico.
654A10	RCL	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.
654A12	TSC	Lógico, pragmático y retórico.	Hecho.	RCI	Lógico y pragmático.	Hecho.

654A13	SELECCIONAL	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.
654A14	TSC	Lógico y pragmático.	Hecho.	RCL	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.
654A18	TSC	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.	RCL	Lógico, pragmático y retórico.	Hecho.
654A19	SELECCIONAL	Teórico, lógico y pragmático.	Hecho y modelo teórico.	SELECCIONAL	Teórico, lógico, pragmático y retórico.	Hecho y modelo teórico.

Tabla 9. Resultados de la diferenciación y la articulación de los conceptos, hecho, teoría y evidencias a partir de la comparación de los resultados del análisis del discurso y la argumentación científica escolar.

ANEXO 7. Evaluación diagnóstica

Universidad Nacional Autónoma de México
Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, Biología
Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur
Grupo Sección
Evaluación diagnóstica

Este cuestionario forma parte de la investigación “Diferencia y relación entre hecho, teoría y evidencia: propuesta didáctica de biología evolutiva para educación media superior”. La evaluación es para saber qué es lo que sabes sobre los contenidos de biología evolutiva.

Nombre: _____

Sexo: _____ Edad: _____ Fecha: _____

I. Lee la noticia y contesta la pregunta.

La siguiente noticia apareció en un diario: “El 15% de los niños de las escuelas tuvieron piojos en el último año. La causa exacta de las recientes epidemias es desconocida, dado que las medidas de higiene se han incrementado, pero todos coinciden en que los insecticidas ya no tiene efecto sobre los piojos.” **¿Por qué consideras que los insecticidas que se utilizaban con éxito anteriormente ya no tienen efecto?**

ANEXO 8. Rúbrica de evaluación diagnóstica.**8.1. Rúbrica para la evaluación diagnóstica inicial****Instrucciones para el evaluador:**

1. Evalúe el ensayo de acuerdo con los niveles (*)
2. Marque con una X el nivel de logro.

Niveles (*)

1. Excelente
2. Adecuado
3. Limitado
4. Ausente

Rúbrica para evaluar contenidos de biología evolutiva y argumentación					
Componentes	Indicadores	Niveles			
		1	2	3	4
Teórico	Explica el fenómeno a partir de un modelo teórico.				
Lógica	Elabora una explicación con diferentes conectores.				
Pragmática	Menciona para quién está dirigido el texto y cuál es el contexto (científico o cotidiano).				
Retórica	Usa ejemplos con el objetivo de convencer.				
Evidencias	Utiliza evidencias.				

Resultado de la evaluación: _____

En la evaluación diagnóstica inicial no se utilizan puntajes en los niveles de logro de cada indicador, debido a que es un contenido que no ha sido enseñado a los alumnos. Por lo tanto, no se puede evaluar de forma numérica.

Para realizar un comparativo cuantitativo de la intervención didáctica se recomienda incorporar en esta rúbrica el puntaje establecido en la rúbrica de la evaluación diagnóstica final.

8.2. Rúbrica para la evaluación diagnóstica final

Instrucciones para el evaluador:

3. Evalúe el ensayo de acuerdo con los niveles (*)
4. Marque con una X el nivel de logro.

Niveles (*)

1. Excelente
2. Adecuado
3. Limitado
4. Ausente

Rúbrica para evaluar contenidos de biología evolutiva y argumentación					
Componentes	Indicadores	Niveles			
		1 (2 pts)	2 (1.5 pts)	3 (1pt)	4 (0 pt)
Teórico	El hecho que quiere explicar esta relacionado con el modelo teórico de referencia.				
Lógica	Elabora un texto explicativo en el que incluye relaciones con los conectores adecuados. (ya que, de este modo, en consecuencia)				
Pragmática	Establece para quién está dirigido el texto y cuál es el contexto (científico o cotidiano).				
Retórica	Usa recursos lingüísticos (metáforas, ejemplos) con el objetivo de convencer a la audiencia sobre lo que aprendió.				
Evidencias	Utiliza evidencias para confirmar el fenómeno observado y para respaldar los argumentos de la teoría que lo explica.				

Resultado de la evaluación: _____

ANEXO 9. ¿Cómo argumentar en una clase de ciencias?

9.1. La prueba de paternidad²⁰

La madre de un niño, de 2 años, solicita a la corte que un hombre se realice una prueba de paternidad para que reconozca al niño cómo su hijo.

El hombre acude a un laboratorio certificado para realizarse la prueba y los resultados muestran que existe un 99.89% de probabilidad de paternidad y se anexa una tabla con los STR (secuencias cortas repetidas en tándem) estudiados.

Sí tú fueras el genetista que analizó las muestras; cómo elaborarías la explicación de los resultados para que el presunto padre las entendiera.

Tabla 1. Perfiles genéticos del supuesto padre y del hijo utilizando 15 STR.

Marcadores	Alelos del padre		Alelos del hijo	
D3S1358	14	15	15	15
Vwa	16	16	16	18
FGA	23	27	21	22
D8S1179	10	13	10	11
D21S11	32.2	33.2	29	31
D18S51	15	21	17	18
D5S818	9	10	10	11
D13S317	8	14	10	11
D7S820	10	10	10	11
D16S539	11	13	11	12
TH01	7	8	6	9
TPOX	8	8	8	8
CSF1PO	11	11	10	12
D2S1338	21	25	19	25
D19S433	14	14	13	14

Marcadores y alelos tomados de Lagos, M., Poggi M., H. y Mellado, S., 20011.

¿Cómo se hace una prueba de paternidad?

- 1) Se toman muestras de mucosa bucal o de sangre del presunto padre y del hijo (Jorquera, H., Acuña, M. y Cifuentes, L., 2008:194).
- 2) Las muestras se someten a la técnica de PCR para analizar los STR de manera simultánea y obtener miles de copias de estas secuencias (Lagos *et al.*, 20011: 542, 544; Jorquera *et al.*, 2008: 194).
- 3) Los productos de la PCR se separan por electroforesis capilar y se marcan con fluorescencia (Lagos *et al.*, 20011: 542, 544; Jorquera *et al.*, 2008: 195).
- 4) Se obtiene el número de repeticiones para cada uno de los STR estudiados en el presunto padre y el hijo (Lagos *et al.*, 20011: 542, 544; Jorquera *et al.*, 2008: 195).

²⁰ Este recurso didáctico se diseñó a partir de los contenidos establecidos en el programa de estudios de la asignatura de biología I y se utilizó para las sesiones del grupo 360 A. Uno de los objetivos de este recurso fue mostrar que en los contenidos de toda la biología se puede explicar un tema a partir de la diferenciación y la articulación de los conceptos: hecho, teoría y evidencia.

5) Se comparan los perfiles del supuesto padre y del hijo.

a) Si el hijo presenta en todos los STR un alelo heredado del padre, se asigna paternidad (Lagos *et al.*, 20011: 542, 545; Jorquera *et al.*, 2008: 194

b) Si el hijo presenta dos o más STR, en los que no se detectan alelos con el mismo número de repeticiones, se excluye paternidad (Lagos *et al.*, 20011: 542, 545, Jorquera *et al.*, 2008: 194).

Preguntas clave

¿Cuál es el fenómeno o hecho científico que se está estudiando?

La relación de parentesco que existe entre el presunto padre y el hijo.

¿A partir de qué modelo teórico podemos explicar esta relación?

De las leyes de herencia mendeliana.

¿Qué evidencia puede confirmar la relación de parentesco?

La homología en la información genética del presunto padre y el hijo. Además, la evidencia molecular menciona que sí existe homología en la secuencia de DNA entre dos individuos, quiere decir que existe una relación de parentesco y que ambos provienen de un ancestro común.

Explicación:

El ser humano, al ser un organismo diploide, contiene dos juegos de información genética, que se hereda de una generación a otra, mediante las leyes de herencia mendeliana (Lagos *et al.*, 20011: 542, 54).

Por lo tanto, un juego de información genética proviene del padre y el otro juego proviene de la madre. Si la información genética del padre está presente en los cromosomas y en el DNA del hijo, se dice que hay homología entre los individuos. Es decir, existe una relación de parentesco y para conformar dicha relación, se recurre a un estudio de paternidad.

El presente estudio de paternidad, se realizó mediante el análisis de determinadas secuencias de DNA en el presunto padre y el hijo. En el que se analizaron 15 marcadores distribuidos en diferentes cromosomas, los cuales se llaman STR (secuencias cortas repetidas en tándem). Estas secuencias son muy variables en la población y a partir de ellas se obtienen perfiles genéticos y se puede distinguir entre individuos (Lagos *et al.*, 20011: 542, 544).

Después de analizar las muestras y comparar los perfiles genéticos del presunto padre y del hijo, se determinó que existe un 99.89% de probabilidad de paternidad y más de 2 STR en los que no se observan alelos del presunto padre en el hijo. Por lo tanto, se excluye la paternidad al no presentar en todos los STR un alelo heredado del padre y al no alcanzar el 99.99% de probabilidad establecido por el ministerio de salud para asignar la paternidad.

9.2. El origen de la célula eucariota²¹

Julio, un estudiante de preparatoria, acudió a una feria de la ciencia y le dijo a uno de los expositores que él había escuchado en un documental que las células eucariotas se formaron a partir de bacterias y que no entendía como pudo suceder eso.

A lo que el biólogo le explicó el origen de la célula eucariota de la siguiente manera:

La atmósfera de la Tierra primitiva se caracterizaba por ser anóxica (Lazcano-Araujo, 2002 (1989): 40) y los organismos que podían sobrevivir a estas condiciones eran anaerobios, que obtenían directamente del ambiente los nutrientes indispensables para realizar sus procesos celulares.

Después de un tiempo, ocurrió un cambio en el ambiente y las concentraciones de oxígeno atmosférico aumentaron a causa del origen de organismos fotosintéticos. (Lazcano-Araujo, 2002 (1989): 71). Al cambiar la atmósfera de reductora a oxidante, propició que los organismos compitieran por los nutrientes que poco a poco fueron más escasos

Estos cambios ambientales ejercieron una presión de selección sobre los organismos; y en estas condiciones, una arqueobacteria termoacidofila ingirió una espiroqueta que no pudo digerir y establecieron una relación parasitaria que después de un tiempo fue de cooperación.

Es decir, la arqueobacteria pudo desplazarse por medio de las espiroquetas y éstas obtuvieron alimentos de la arqueobacteria. A partir de esta primera asociación simbólica, en la que los organismos que la establecieron obtuvieron beneficios, se formó el nucleocitoplasma y el undulipodio. Además, esta simbiosis al ser una variación favorable, la selección natural la mantuvo en la población a través de

²¹ Este recurso didáctico se diseñó a partir del programa de estudios de la asignatura biología II y corresponde a un tema antecedente al contenido disciplinar de la propuesta didáctica.

varias generaciones y en consecuencia, aumento el número individuos con esa característica.

El oxígeno en la atmósfera siguió aumentando y el simbiote anaerobio nadador ingirió un simbiote aerobio que no pudo digerirlo. De ésta manera, se estableció otra simbiosis que permitió, al primer simbiote, emplear el oxígeno y con ello el surgimiento de la mitocondria. Ahora el organismo estaba conformado por tres simbiotes y esta variación resultó favorable y nuevamente la selección natural la preservó en la población.

En una atmósfera compuesta mayormente por oxígeno, los organismos aerobios predominaban. En estas condiciones, el nuevo simbiote ingirió una cianobacteria primitiva que podía realizar la fotosíntesis, con este evento se estableció una nueva simbiosis. Finalmente, la composición atmosférica se estabilizó y el organismo simbiote se formó a partir de cuatro organismos.

Por lo tanto, la simbiogenesis es un proceso de simbiosis que se establece a largo tiempo y en la que los procesos de transferencia horizontal de genes y la herencia genética son importantes para propiciar el cambio evolutivo (González-Arredondo, 2014: 45, 47; Margulis y Sagan, 2003: 36-37; Margulis, 2002: 19, 39). Es decir, la simbiogenesis como fuente de variación permitió el surgimiento de características favorables para el simbiote (Margulis y Sagan, 2003: 37, 39) y la selección natural mantuvo la característica a través de las generaciones (González-Arredondo, 2014: 51).

A partir del proceso de simbiogenesis y de selección natural, los eucariotas tienen en la actualidad: nucleocitoplasma, undulipodios, mitocondrias y plástidos (González-Arredondo, 2014: 45; Margulis, 1992: 12).

Después de la explicación del biólogo; Julio menciono que los eucariotas se formaron a partir de varias relaciones simbióticas entre diferentes organismos. Además, detectó los siguientes puntos importantes dentro de la explicación:

Hecho evolutivo: variación y origen de la célula eucariota

Teoría: endosimbiosis seriada (simbiogenesis) y selección natural

Evidencias: nucleocitoplasma, undulipodios, mitocondrias y cloroplastos

ANEXO 10. Tarjetas para formar grupos de trabajo.



ANEXO 11. Casos de adaptación.

Caso 1. Las cactáceas son plantas xerófitas que se distribuyen en regiones áridas y semiáridas del norte y centro de México. Estas plantas presentan modificaciones anatómicas y fisiológicas que aumentan la capacidad de absorción, almacenaje y uso eficiente del agua.

Echinocactus platyacanthus



Caso 2. Los animales que son presas de depredadores tienen diversas formas y coloraciones protectoras que les permiten pasar desapercibidos ante sus depredadores, este es el caso del insecto espina (*Umbonia spinosa*).

Umbonia spinosa



Caso 3. Los peces linterna (*Himantolophus groenlandicus*) tienen órganos luminiscentes en la cabeza y en el cuerpo, la presencia de estos órganos cumplen un papel muy importante en la atracción de las presas.

Himantolophus groenlandicus



ANEXO 12. Hoja de experto.

Conceptos fundamentales del Modelo de Evolución por Variación y Selección Natural (MEVSEN)

Nombre: _____

Concepto	Explicación
Variación	
Mutación	
Población	
Interacciones intraespecíficas	
Interacciones interespecíficas	
Evolución biológica	

Adaptación	
Proceso adaptativo	
Adaptación diferencial	
Selección natural	
Ancestro común	
Resultados de la evolución biológica	
Biodiversidad	
Extinción	
Especiación	
Adaptación	

ANEXO 13. Material para el juego de simulación de la selección natural.

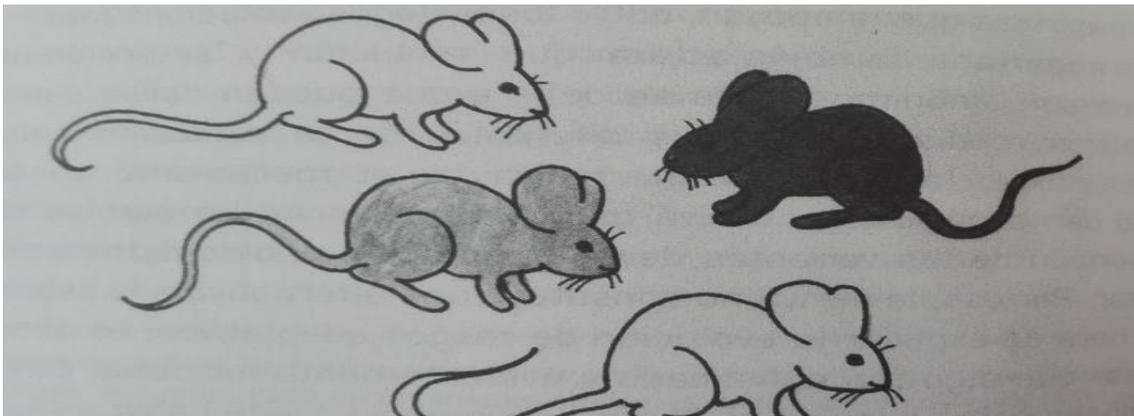


ANEXO 14. Modelo de Evolución por Selección Natural (MESN)²²

Modelo de Evolución por Selección Natural (MESN)

La condición previa y necesaria para que se dé evolución, mediante cualquier proceso, es que exista variación heredable en la población. Por eso, podemos referirnos al proceso de evolución por selección natural como un modelo de *variación y selección*. Presentaremos el *modelo de evolución por selección natural* (MESN) con un ejemplo sencillo (ilustraciones de L. González Galli). Supondremos que para una especie de ratón el color oscuro de pelaje es ventajoso porque los individuos que tienen ese color tienen más probabilidades (que los de pelaje más claro) de pasar inadvertidos frente a sus depredadores. Veremos cómo la selección natural nos permite explicar el hecho de que, partiendo de una población con distintas variantes de color presentes en ciertas proporciones, al cabo de unas generaciones, llegamos a una población en la que predomina el color oscuro, es decir, el más “conveniente” desde el punto de vista de la supervivencia.

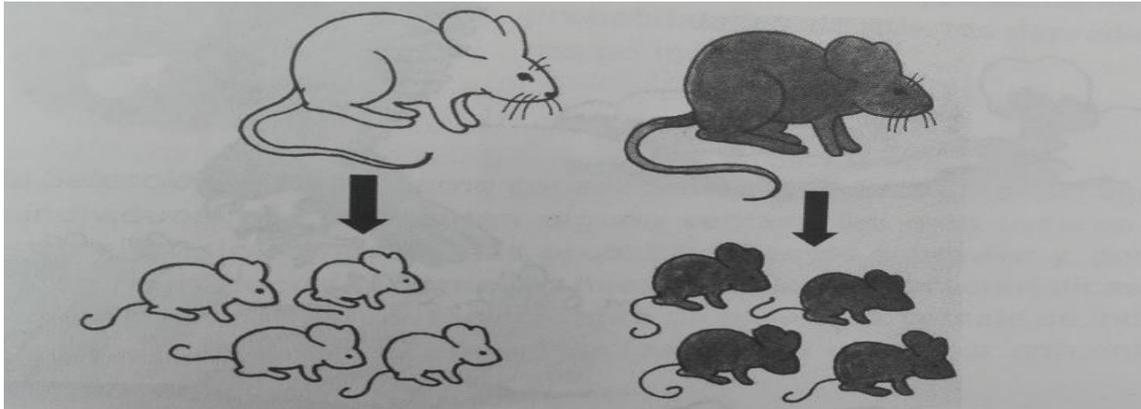
1) *Variantes dentro de la población*: los individuos presentan ligeras diferencias entre sí, cada individuo es único. Los individuos nacen con pequeñas diferencias sin importar si esas diferencias son ventajosas o perjudiciales para ellos. Estas variaciones son el producto de las mutaciones genéticas y de las nuevas combinaciones de genes debidas a la reproducción sexual.



Ejemplo: algunos individuos son más claros y otros más oscuros.

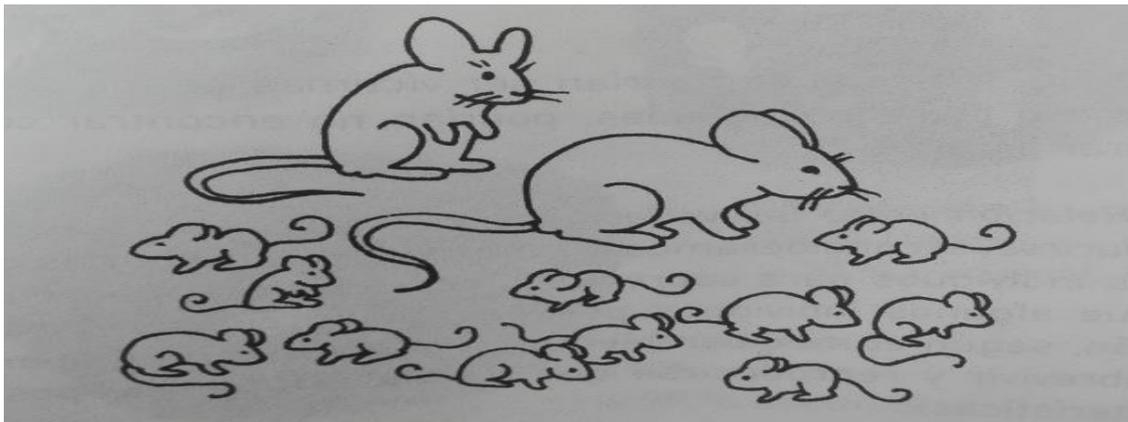
²² Texto e imágenes tomadas de González-Galli, L. M. (2010). La teoría de la evolución. En Meinardi, Elsa (Ed.), Educar en ciencia (pp. 225-259). Buenos Aire: Paidós.

2) *Herencia de variaciones*: los hijos se parecen a los padres, por lo que las diferencias entre los individuos también aparecerán entre los descendientes. Esto se debe a que las características biológicas son determinadas en parte por los genes que los descendientes reciben de sus progenitores.

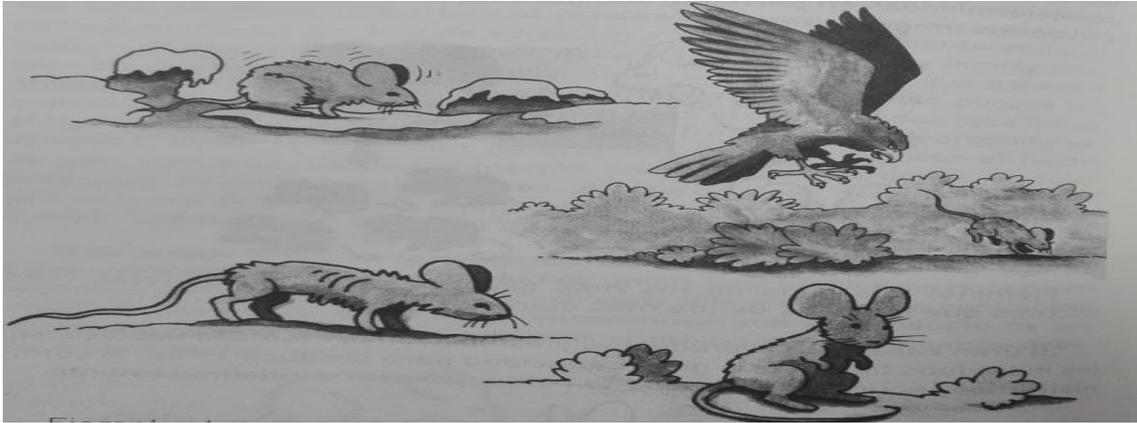


Ejemplo: Los hijos de los más oscuros serán, en general, más oscuros que los hijos de los más claros.

3) *Gran capacidad reproductiva y estabilidad del tamaño poblacional*: los individuos tienen una gran capacidad para producir crías. Si suministramos recursos ilimitados la población crece indefinidamente.

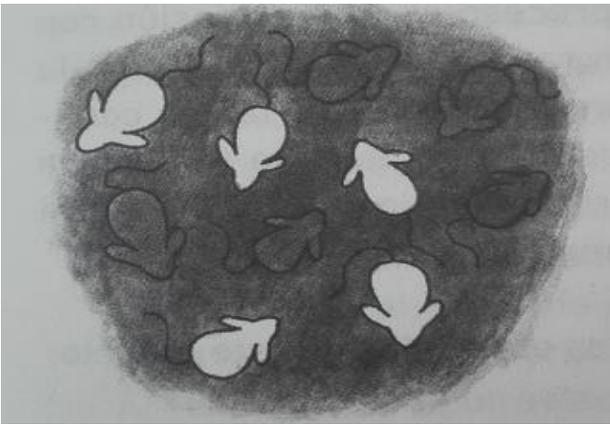


Sin embargo, las poblaciones no crecen indefinidamente sino que alcanza un tamaño límite. Esto se debe a que, por diversos motivos, muchos individuos no logran sobrevivir o reproducirse.



Ejemplo: Los ratones podrían ser víctimas de los depredadores, del clima o las enfermedades, podrían no encontrar comida o no encontrar pareja.

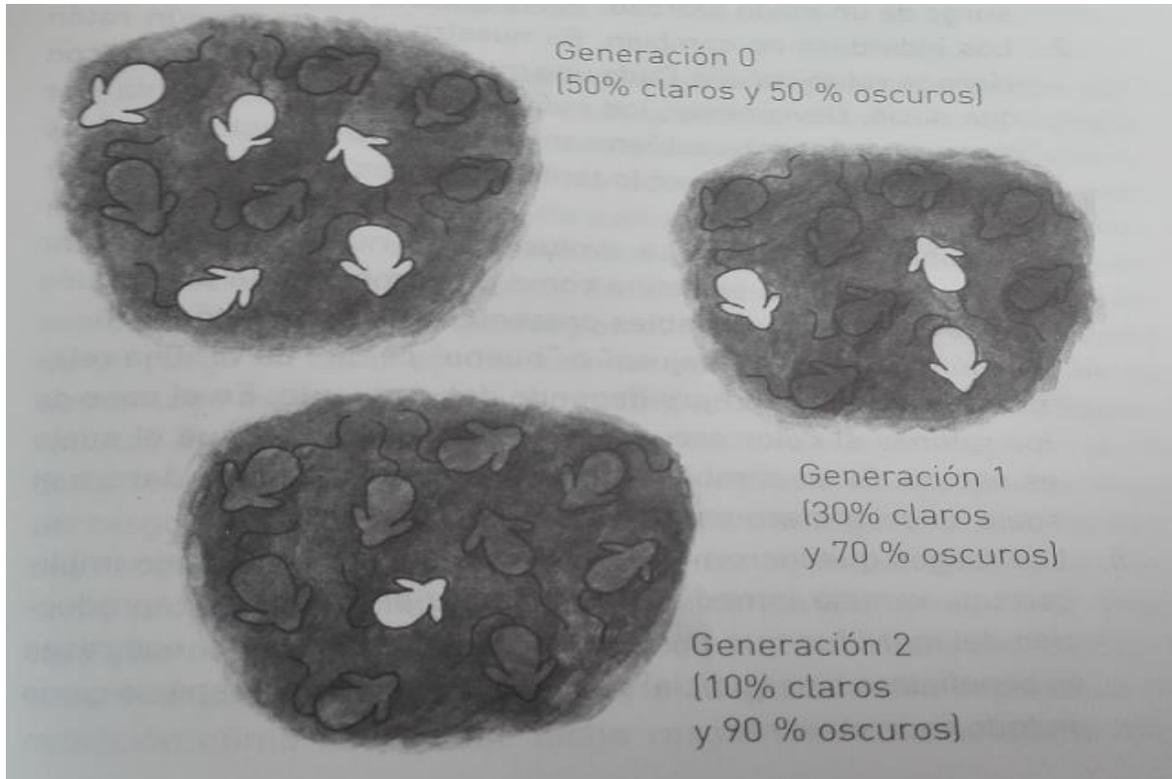
4) *Relación entre las variaciones y la capacidad para sobrevivir y reproducirse*: si consideramos los numerosos problemas que enfrentan los individuos para sobrevivir y reproducirse, podremos entender que algunos individuos poseedores de ciertas características tendrán, según el medioambiente en que viven, más oportunidades de sobrevivir y reproducirse que los individuos que poseen otras características.



Ejemplo: en un ambiente como el de la figura los individuos más oscuros tendrían una ventaja (en comparación con los más claros), ya que se confunden con el suelo, lo que aumenta la probabilidad de que los depredadores no los detecten.

5) *Selección natural*: Como consecuencia de todo lo anterior, aquellos individuos que presentan alguna ventaja (los más oscuros en nuestro ejemplo) tendrán más probabilidades de sobrevivir y, por lo tanto, de reproducirse. Como los hijos heredan las características de sus padres, en cada generación habrá un mayor

porcentaje de individuos con características ventajosas (oscuros) y un menor porcentaje con las desventajosas (claros).



Como vemos, el resultado de este proceso es una población con un mayor porcentaje de individuos con rasgos ventajosos. Como la mutación y la recombinación sexual generan nuevas variantes continuamente, la selección natural siempre incrementará la frecuencia de las variantes ventajosas, o para decirlo mejor, la selección natural es el inevitable incremento de la frecuencia de estas variantes.

ANEXO 15. Fichas para el torneo del MEVSEN.

1. ¿Cuál es la unidad de la evolución biológica?	2. Menciona los tres hechos científicos que son condiciones para que ocurra evolución por selección natural.	3. ¿Cuál es la “materia prima” de la evolución?
4. ¿Cuáles son las principales causas de la variación biológica?	5. Explica por qué las poblaciones no pueden crecer ilimitadamente.	6. Define selección natural.
7. Explica cómo actúa la selección natural en el ejemplo de los escarabajos.	8. En el contexto de la selección natural, qué es más importante: sobrevivir o reproducirse. Explica por qué.	9. ¿Por qué decimos que existe una desconexión causal entre el surgimiento de la variación y su valor adaptativo?
10. ¿Por qué ningún rasgo es ventajoso per se?	11. ¿Cuál es, hasta el momento, el modelo que explica la adaptación?	12. Las características o variaciones que aumentan su frecuencia en las poblaciones son:

ANEXO 16. Hoja de respuestas de las preguntas del torneo del MEVSEN.

1. ¿Cuál es la unidad de análisis de la evolución biológica?

La población.

2. Menciona los tres hechos científicos que son condiciones para que ocurra evolución por selección natural.

Variación biológica, herencia y éxito reproductivo diferencial.

3. ¿Cuál es la “materia prima” de la evolución?

La variación.

4. ¿Cuáles son las principales causas de la variación biológica?

Mutación y recombinación genética.

5. Explica por qué las poblaciones no pueden crecer ilimitadamente.

Existen factores ambientales como: escasas de alimento, enfermedades, depredación, cambios climáticos, entre otros, que regulan el tamaño poblacional.

6. Define selección natural.

Es la supervivencia y reproducción diferencial.

7. Explica, cómo actúa la selección natural en el ejemplo de los escarabajos.

8. En el contexto de la selección natural, qué es más importante: sobrevivir o reproducirse. Explica por qué.

Si el individuo presenta una característica ventajosa tendrá más probabilidades de sobrevivir, pero si tiene una mutación que le confiere esterilidad, la variación ventajosa no tendrá ningún papel en el sentido evolutivo. Por lo tanto, es importante sobrevivir pero aún más importante es reproducirse y heredar la característica ventajosa a la siguiente generación.

9. ¿Por qué decimos que existe una desconexión causal entre el surgimiento de la variación y su valor adaptativo?

Las variaciones surgen de manera azarosa (mutación y recombinación genética) respecto de la presión selectiva e independientemente de si serán ventajosas, perjudiciales o neutras para el individuo que las porta.

10. ¿Por qué ningún rasgo es ventajoso *per se*?

La ventaja de un rasgo depende de las condiciones ambientales.

11. ¿Cuál es, hasta el momento, el modelo que explica la adaptación?

La teoría de selección natural o Modelo de Evolución por Variación y Selección Natural.

12. Las características o variaciones que aumentan su frecuencia en las poblaciones son:

Las que implican una ventaja en la supervivencia y la reproducción.

ANEXO 17. Rompecabezas de las Evidencias de la Evolución Biológica (EEB).

Molecular

El hecho de que todos los seres vivos compartan las mismas vías bioquímicas y el mismo código genético de 4 letras, significa que todas las especies provienen de un ancestro común.

La comparación de secuencias de DNA y proteínas respiratoria (citocromo c) entre diferentes especies se realiza para determinar relaciones de parentesco entre los seres vivos.

Embriología

Se tiene evidencia de que los grupos de animales relacionados evolutivamente (que comparten un ancestro común) tienen rasgos comunes en las primeras etapas del desarrollo embrionario.

La semejanza en los embriones se debe a que los vertebrados comparten un ancestro común que tenía las mismas características y los genes que codifican a dichas estructuras son similares entre grupos de animales.

Morfología comparada

A partir del estudio comparativo de la estructura corporal de los seres vivos se determinaron 3 tipos de patrones:

***Homogenias o estructuras homologas**

Son rasgos similares entre distintas especies que comparten un ancestro común.

Todos los organismos de la imagen tienen los mismos huesos, en número y posición relativa, en las extremidades anteriores, aunque cada uno de estos realice distintas actividades y superficialmente cada una de las extremidades sea diferente.

La semejanza en la posición de los huesos se explica a partir de un antepasado común, que tenía los mismos huesos, los heredó a sus descendientes y con el paso del tiempo la selección natural favoreció la adaptación de las extremidades a diferentes ambientes.

***Órganos vestigiales**

Son estructuras homologas que fueron de gran importancia en un antepasado remoto y se heredaron a las especies actuales casi en el mismo estado.

El apéndice cumplió una función importante en el proceso de la digestión en los antepasados remotos de *Homo sapiens*.

***Homoplasias o estructuras análogas**

Son características similares que desempeñan la misma función en diferentes especies que no comparten un ancestro común.

Las alas de las aves, de las moscas y del murciélago se formaron independientemente como adaptaciones que permiten el vuelo.

Paleontología

Con el estudio comparativo entre fósiles y especies actuales se tiene información de cómo se han modificado las especies a lo largo del tiempo, además indica cuándo se originaron y cuándo se extinguieron diferentes especies.

El registro fósil proporciona información sobre:

Las especies que existieron en el pasado.

Indica cómo se han transformado las especies con el tiempo.

Muestra especies intermedias entre grupos de organismos. *Archaeopteryx lithographica* y *Tiktaalik roseae* presentan tanto características de la especie ancestral como de las especies descendientes.

Biogeografía

Describe y explica las causas de la distribución geográfica de las especies en el planeta. Revela la correspondencia entre la distribución geográfica actual de las especies y la historia geológica de la Tierra. Algunos patrones de distribución que

se han descrito al observar y al estudiar floras y faunas de distintas partes del planeta evidencian:

La existencia de especies íntimamente relacionadas. Las especies que son muy similares entre sí, tienden a agruparse geográficamente, la correspondencia en la distribución sugiere que son descendientes de un ancestro que vivió en la misma zona.

El origen de nuevas especies. La separación geográfica y los mecanismos de aislamiento reproductivo provocan que las poblaciones de una especie ancestral evolucionen independientemente produciendo nuevas especies.

Selección natural en acción

Muestra que la selección natural está actuando en todo momento conservando las variantes benéficas y eliminando las perjudiciales. Un ejemplo de selección natural en acción se observó en las poblaciones de *Biston betularia*, una palomilla que habita los bosques de Inglaterra. La forma típica de la palomilla es de color blanco y existe una variante que es de color moteado. Antes de la Revolución Industrial (1760-1870), en los árboles de los bosques de Inglaterra predominaban los individuos de color blanco, ya que se mimetizaban con la corteza blanca de los árboles, mientras que las formas moteadas eran visibles para los depredadores. Sin embargo, cuando comenzó la Revolución Industrial, los bosques fueron afectados por las grandes cantidades de humo contaminante que despedían las fábricas, provocando que los troncos de los árboles se tornaran color oscuro a causa del hollín. Con este cambio en el ambiente, los individuos que predominaron en el bosque fueron los de color moteado, mientras que las formas típicas fueron depredadas.

ANEXO 18. Rótulos de las EEB

**Todas las especies
descienden de un
ancestro común**

**Origen de nuevas
especies a partir de
especies ancestrales**

**Existe parentesco entre
todas las especies**

**La selección natural es el
mecanismo que produce
adaptaciones.**

ANEXO 19. El genotipo ahorrador.

“El genotipo ahorrador”

México es considerado el país con el mayor número de personas con obesidad. Esta enfermedad crónica, es considerada una epidemia desde la mitad del siglo XX, ya que afecta a un gran número de personas y está asociada a enfermedades como la diabetes mellitus tipo 2, el síndrome metabólico y la hipertensión.

Sí consideramos que la acumulación de reservas energéticas fue una característica genética favorecida por la selección natural, por qué en la actualidad es un factor que ocasiona obesidad y enfermedades asociadas a ésta en miles de personas.

Para dar respuesta a esta pregunta, diferentes investigaciones se han realizado para determinar qué factores son los que contribuyen al aumento de peso. En el año 1962, James Neel propuso la teoría del genotipo ahorrador (Chacín, M., Rojas, J., Pineda, C., Rodríguez, D., Núñez-Pacheco, M., Marqués G., M., Leal, N., Añez, R., Toledo, A. y Bermúdez P., V., 2011: 11; Conella y Ordovás, 2007: 78) para explicar cómo una variación genética favoreció la acumulación de reservas energéticas (Chacín *et al.*, 2011: 11; Valenzuela, 2011: 200; Conella y Ordovás, 2007: 78; Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C., 2007: 93, 200).

Si se realiza un análisis histórico de los antepasados del ser humano, se encuentra que los primeros cazadores-recolectores del paleolítico se alimentaban principalmente de semillas, frutas, raíces y bulbos, y en ocasiones de restos de carne que dejaban los grandes depredadores (Chacín *et al.*, 2011: 14; Valenzuela, 2011: 200). También se sabe que caminaban grandes distancias en la búsqueda del alimento y llegaban a pasar largas temporadas de ayuno (Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C., 2007: 93, 200; Conella y Ordovás, 2007: 78; García-Lorda, P. y García-Lorda, A. M., 2005: 435-437).

La escasez de alimento y, en consecuencia, las hambrunas fueron presiones de selección las cuales favorecieron a los individuos que presentaban el genotipo ahorrador a diferencia de los individuos que no lo tenían. Es decir, estos individuos tenían mayor eficiencia en el almacenamiento de glucosa en forma de glucógeno y

grasa, así como la liberación rápida de insulina cuando las concentraciones de glucosa en la sangre aumentaban (Valenzuela, 2011: 202; Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C., 2007: 93,198).

Por lo tanto, en las poblaciones del paleolítico, cuando se disponía de alimento, los individuos que tenían el genotipo ahorrador acumulaban rápidamente la glucosa en depósitos de reserva energética; cuando se presentaban periodos de ayuno o de hambruna, esa energía acumulada la podían utilizar (Rubio, Guarner, Lans y Paredo, 2014: 150; Valenzuela, 2011: 202, 204, 207; Conella y Ordovás, 2007: 78; Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C., 2007: 93; García-Lorda, P. y García-Lorda, A. M., 2005: 435-437). Así, la selección natural favoreció a estos individuos, los cuales al sobrevivir y tener mayores reservas energéticas que los demás, lograron reproducirse y heredar esa característica a sus descendientes. Es por estas razones que algunos individuos de la especie *Homo sapiens* tienen un genotipo ahorrador que lo heredaron de los ancestros del paleolítico.

Investigaciones en biología molecular y genética han encontrado varios genes que están involucrados en la acumulación de energía (Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C., 2007: 93). Esto es evidencia de que el genotipo ahorrador es hereditario y fue favorecido por la selección natural.

Sin embargo, en la actualidad, el genotipo ahorrador ya no confiere una ventaja a los individuos que portan dicha característica. El cambio en el ambiente provocó que el ser humano disponga de una gran cantidad de alimentos ricos en azúcar y grasas, ya no tiene que recorrer grandes distancias para obtener su alimento y muy pocas veces se somete a periodos de ayuno (Chacín *et al.*, 2011: 14; Valenzuela, 2011: 206; Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C., 2007: 93). Estos factores sumados a la inactividad física y al sedentarismo, provocan que se acumule un exceso de reserva energética en los individuos que presentan el genotipo ahorrador (Chacín *et al.*, 2011: 17).

Este caso muestra los efectos de la selección natural y pone de manifiesto que no existen adaptaciones perfectas. Tener el genotipo ahorrador fue exitoso en las

poblaciones del paleolítico. Sin embargo, el cambio en el ambiente provocó que el rasgo que confería una ventaja, ya no lo es en los individuos actuales.

Referencias

- Chacín, M., Rojas, J., Pineda, C., Rodríguez, D., Núñez-Pacheco, M., Marqués G., M., Leal, N., Añez, R., Toledo, A. y Bermúdez P., V.** (2011). Predisposición humana a la obesidad, síndrome metabólico y diabetes. El genotipo ahorrador y la incorporación de los diabetogenes al genoma humano desde la antropología biológica. *Síndrome metabólico, 1 (1)*: 11-24.
- Conella, D. y Ordovás, J. M.** (2007). Genes, dieta y enfermedades cardiovasculares. *Investigación y Ciencia, 74* – 83.
- García-Lorda, P. y García-Lorda, A. M.** (2005). Historia del metabolismo energético y proteico. En Salas-Salvadó, J., García-Lorda, P. y Sánchez R., J. M. (Eds.), *La alimentación y la nutrición a través de la historia* pp. (419-446). España: Editorial Glosa.
- Rubio R., M. E., Guarner-Lans, V. y Paredo E., A. E.** (2014). Medicina Darwiniana: El desarrollo del síndrome metabólico desde una perspectiva evolutiva. *Mensaje Bioquímico Facultad de Medicina, UNAM, XLI*: 145-164.
- Schnell, M., Domínguez, Z. y Carrera, C.** (2007). Aspectos genéticos, clínicos y fisiopatológicos del síndrome metabólico. *Anales Venezolanos de Nutrición, 20 (2)*: 92-98.
- Valenzuela B., A.** (2011). ¿Por qué comemos lo que comemos? *Revista Chilena de Nutrición, 38 (2)*: 198-209.

ANEXO 20. Evaluación post-instruccional.

Universidad Nacional Autónoma de México
Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, Biología
Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur
Grupo _____ Sección _____
Evaluación post-instruccional

Este cuestionario forma parte de la investigación “Diferencia y relación entre hecho, teoría y evidencia: propuesta didáctica de biología evolutiva para educación media superior”. La evaluación es para saber qué es lo que aprendiste durante las sesiones de intervención del profesor practicante.

Nombre: _____

Sexo: _____ Edad: _____ Fecha: _____

I. Analiza y explica el problema.

En un lago existe una población de peces que ha sido estudiada desde hace muchas décadas por un grupo de biólogos. Comparando las poblaciones más antiguas con las actuales los investigadores observaron un cambio en las aletas de los peces: la gran mayoría de los individuos de las poblaciones antiguas tiene aletas sin espinas, mientras que en las poblaciones actuales la mayoría de los individuos tiene aletas con espinas. Los investigadores observaron que las espinas eran una eficaz defensa contra sus depredadores. **¿Cómo consideras que explicaría un biólogo esta diferencia entre las poblaciones antiguas y las actuales?**

ANEXO 22. Evaluación al profesor por parte del asesor docente.

Universidad Nacional Autónoma de México

Maestría en Docencia para la Educación Media Superior, Biología

Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur

Grupo Sección

Cuestionario de evaluación de la secuencia didáctica

Asesor docente: _____

La información que se recabe de este cuestionario servirá para mejorar la secuencia didáctica y la práctica docente. Por lo que sus respuestas son de gran importancia.

1. La profesora señaló los objetivos de aprendizaje que se pretendían lograr en cada sesión.
2. ¿Dio las instrucciones adecuadas para la realización de las actividades en clase?
3. ¿Mostró dominio del contenido disciplinar?
4. ¿Con base en el tiempo disponible, distribuyó y jerarquizó los aprendizajes del tema adecuándolos al nivel académico del alumno?
5. ¿El tratamiento del tema fue coherente con los objetivos, el enfoque del programa y el plan de estudios en lo que se refiere a la amplitud y la profundidad que se le dio en clase?

15. ¿El desempeño de la profesora se llevó a cabo en un ambiente de respeto?

16. Describa el ambiente de clase.