



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

RELACIÓN ENTRE LOS MODELOS DE ENDOSIMBIOSIS
SERIADA Y DE SELECCIÓN NATURAL: PROPUESTA
DIDÁCTICA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

ANAHI GONZÁLEZ ARREDONDO



DIRECTORA DE TESIS:

M. en C. Eréndira Alvarez Pérez

Los Reyes Iztacala, 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Dedicada a:

*Mi madre, por ser la persona que más quiero, necesito y admiro en el mundo, siempre estaré a tu lado, de la misma forma que tú has estado conmigo.
Te amo mamá.*

*Mi padre, por confiar en mí, apoyarme y brindarme todos los medios para que terminara mis estudios a pesar de lo complicado que fuera.
Te amo papá.*

*Fernando, tú has cambiado toda mi vida, sin tu apoyo no estaría donde estoy hoy, gracias por quererme, respetarme, comprenderme y apoyarme tanto.
Te amo Fer.*

Agradecimientos a:

Mis padres; Esther y Aarón, por todo su cariño y apoyo, este trabajo es fruto de un gran esfuerzo en el que se han visto implicados. Los amo y estaré a su lado siempre.

Mis queridos abuelos: A mi abu Mari por apoyarme, aguantarme y estar ahí en todo momento de necesidad, siempre que me faltaba algo sabía que podía contar contigo, espero también ser un apoyo para ti. A mi abu Ernestina por ser paciente y soportar todas las desveladas y demás inconvenientes que causa un estudiante en casa, he aprendido mucho de ti. Las quiero mucho y aprecio mucho la fe que han mostrado en mí. A mí abuelo Juan, por ser tan tierno y divertido, es muy fácil platicar contigo sin preocupaciones, te quiero mucho bolo.

Mis tíos maternos: Juan (Tío Jhonny) eres un segundo padre para mí, siempre estás en los buenos y malos momentos, siempre me brindas tu ayuda incondicional, Joel (Tío Puma) sin duda, él más divertido, siempre apoyándome sin cuestionarme y mi Tío José, él más racional y con el que más me peleaba, pero sé que es porque te preocupabas por mí. Gracias por siempre estar a mi lado. Los quiero más de lo que imaginan. También a mi tía Blanca, porque aunque la vida no siempre es justa, te esfuerzas y continuas de una u otra manera.

Mis tíos paternos: Tío Carlos y Tía Yolanda, por todo el apoyo, aún cuando no teníamos la relación más profunda, siempre me respaldaron cuando me faltaba material para ir a campo, cuando necesitaba literatura o simplemente tenía dudas. Incluso las tesis que hoy tengo en las manos se han impreso gracias a su ayuda. También a mi Tía Mary por ser tan comprensiva y brindarme consejos excelentes.

Mi hermana Angélica y a mis primas Elizabeth y Karina; Adoro sus locuras, siempre estoy riendo con ustedes, simplemente son únicas y a las tres las quiero infinitamente. Y Quica aunque no estemos de acuerdo en muchas cosas, has estado conmigo siempre, créeme que lo aprecio en verdad.

Mis amigas: Laura e Ivonne; mí querida lala contigo he pasado de todo, desde que me arrebatas el mortero hasta esas platicas imborrables, eres una persona increíble, mi querida Bombón, siempre estamos riendo con nuestras conversaciones, me has aconsejado sabiamente y nunca me has dejado sola. Chicas estoy sumamente agradecida por haberlas conocido y sé que nos faltan años de amistad y aventuras por vivir.

Mis queridos y revoltosos pelafustanes: Juan, siempre has estado ahí, brindando tranquilidad en mis momentos de estrés (por ejemplo, cuando explotaba el destilado de las drupas); Manuel, gracias por siempre rescatarme y hacerme reír; Esteban, siempre hemos tenido buenas pláticas y buenos momentos (por ejemplo, cuando no podíamos subir el cerro en Villa del Carbón) y Héctor, me has sacado un montón de risas, siempre tienes un haz bajo la manga que me ha ayudado más de una vez. Gracias por todo chicos, a su lado he pasado momentos increíbles. Y como olvidar a mi hermano del alma Omar (Canita) por tantas risas, tantas pláticas y tantos consejos, eres el hermano mayor que no tuve, sin lugar a dudas.

Una mención especial a la familia Moreno Sandoval, por todas las facilidades que me ha brindado en mis estudios (por ejemplo, cuando me acogieron en su hogar después de llegar a las 12 am de una práctica de campo), espero en algún momento poder corresponder a toda su amabilidad.

Por último, Fernando, no tengo manera de agradecerte todo lo que hemos vivido juntos, me has ayudado de forma invaluable a realizar este trabajo. Pero lo más importante, me has alegrado todos los días desde que te conocí, lo más gratificante que la carrera me ha dado (además de esta tesis) es haberte conocido, gracias por estar en mi vida.

No tengo palabras para agradecer el apoyo de todas las personas que han estado en mi camino, sólo me resta apreciar toda la fe que han tenido en mí. G R A C I A S.

Agradecimientos a:

El equipo del Laboratorio de Historia y Filosofía de la Biología de la Facultad de Ciencias, por las facilidades brindadas a lo largo de ésta investigación y por tomarme en cuenta en las actividades que se realizaron durante mi estancia en la Facultad.

No tengo como agradecer a mi asesora de tesis la M. en C. Eréndira Álvarez Pérez, por darme la oportunidad de trabajar a su lado, ni siquiera nos conocíamos y aún así me brindaste el apoyo para llevar a buen puerto todas las inquietudes que tenía sobre los temas de Biología evolutiva, conmigo has sido lo que le sigue de paciente. Muchas gracias por todo el apoyo, los consejos y las correcciones. Er, eres una persona perseverante y dedicada a la que le aprendí mucho todo este tiempo de trabajo.

Es importante resaltar que esta tesis no hubiera llegado a buen puerto sin las observaciones de los sinodales que revisaron la tesis.

Dra. Arlette López Trujillo, le agradezco todas las facilidades que me proporcionó para que realizara mis trámites, así como sus acertadas observaciones y consejos.

Dr. Eugenio Camarena Ocampo, gracias por entender y respetar el trabajo, aprendí mucho gracias a sus correcciones y aunque me queda todo un camino por recorrer, hoy estoy más cerca de llegar a mi meta.

M. en C. Roberto Moreno Colín, le agradezco todas las correcciones hacia el trabajo, me ayudaron a darle dirección y a resaltar ciertos aspectos de la tesis. De manera particular quiero agradecer a la Lic. Gabriela Sánchez Fabila todas las facilidades que me brindo al momento de reunir los votos aprobatorios así como sus comentarios hacia el trabajo, ya que lo enriquecieron enormemente.

Por último quiero agradecer a la M. en H. de la C. Susana Esparza Soria, todo el tiempo y empeño que puso en revisar mi trabajo, sus comentarios y todas las atenciones que tuvo conmigo en el Laboratorio, siempre recordare la amabilidad con la que me ha tratado.

Muchas gracias a cada uno de ustedes, todas sus palabras han hecho que este trabajo por fin vea la luz y me han ayudado a conseguir uno de mis sueños.

GRACIAS

ÍNDICE

SÍNTESIS	1
INTRODUCCIÓN	2
PREMISA	7
OBJETIVOS	7
METODOLOGÍA	8
CAPÍTULO 1. EL SENTIDO DE EDUCAR EN CIENCIAS	10
1.1 LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA	10
1.2 EL PROCESO DE ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA	12
1.3 EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS	14
1.3.1 <i>El constructivismo</i>	18
1.4 LA DIDÁCTICA EN LA BIOLOGÍA	20
1.5 RELEVANCIA DE LA DIDÁCTICA EN BIOLOGÍA EVOLUTIVA	24
1.5.1 <i>La Biología evolutiva en la Educación Media Superior en México</i>	29
CAPÍTULO 2. BIOLOGÍA EVOLUTIVA	32
2.1 MODELO DE EVOLUCIÓN POR VARIACIÓN Y SELECCIÓN NATURAL (MEVSN)	32
2.1.1 <i>Gradualismo y ascendencia en común</i>	32
2.1.2 <i>El concepto de variación en el pensamiento darwinista</i>	34
2.1.3 <i>Selección natural y teoría sintética de la evolución</i>	37
2.1.4 <i>Efecto de la selección natural: Biston betularia</i>	42
2.2 MODELO DE ENDOSIMBIOSIS SERIADA (MES)	45
2.2.1 <i>Simbiosis y simbiogénesis</i>	45
2.2.2 <i>Antecedentes del modelo de endosimbiosis seriada</i>	49
2.2.3 <i>Características de la Tierra primitiva</i>	51
2.2.4 <i>Primera incorporación simbiótica: El nucleocitoplasma y los undulipodios</i>	52
2.2.5 <i>Segunda incorporación simbiótica: La mitocondria</i>	55
2.2.6 <i>Tercera incorporación simbiótica: Los plástidos</i>	57
2.2.7 <i>Efecto de la simbiogénesis: Los líquenes</i>	60
2.3 RELACIÓN ENTRE EL MODELO DE EVOLUCIÓN POR VARIACIÓN Y SELECCIÓN NATURAL Y DE ENDOSIMBIOSIS SERIADA	61
2.3.1 <i>Fenómenos evolutivos representados en el MEVSN y el MES</i>	61
2.3.2 <i>Objetos de estudio: Individuos, poblaciones y comunidades</i>	64
2.3.3 <i>Fuentes de variación: Recombinación genética, mutación y simbiogénesis</i>	66
2.3.4 <i>Lucha por la existencia: competencia y cooperación</i>	71
2.3.5 <i>El efecto de la selección natural en las relaciones simbióticas</i>	73
2.3.6 <i>Árboles y redes filogenéticas</i>	74
CAPÍTULO 3. ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA RELACIONAR LOS MODELOS DE SELECCIÓN NATURAL Y DE ENDOSIMBIOSIS SERIADA	77
3.1 DIDÁCTICA DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA	77
3.2 LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA	79
3.3 PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA Y EN EL APRENDIZAJE DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA	79

3.4 PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR EN MÉXICO	83
4.CONCLUSIONES	102
5.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
6.ANEXOS.....	114
6.1 PLANES DE ESTUDIO (ANEXO 1)	114
6.2 DISEÑO DOCENTE (ANEXO 2).....	124

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CUADRO COMPARATIVO SOBRE LOS CONTENIDOS DEL MEVSN Y EL MES QUE SE ENSEÑAN EN INSTITUCIONES DE EMS EN LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	5
TABLA 2. DEFINICIONES DEL CONCEPTO DE APRENDIZAJE POR DIFERENTES AUTORES	16
TABLA 3. DEFINICIONES DEL CONCEPTO DE DIDÁCTICA POR DIVERSOS AUTORES.	21
TABLA 4. SÍNTESIS DE LAS DIFERENCIAS ENTRE EL MEVSN Y EL MES	75
TABLA 5. SE EXPLICAN LOS OBJETIVOS DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA	83
TABLA 6. EJEMPLO DE CUADRO COMPARATIVO ENTRE LOS CONCEPTOS DE SIMBIOSIS Y SIMBIOGÉNESIS.....	90
TABLA 7. ESQUEMA DE PREGUNTAS GENERADORAS SOBRE LA SIMBIOSIS USANDO DE EJEMPLO EL CASO DE LOS LÍQUENES.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA DE LOS COMPONENTES DEL PROCESO DE APRENDIZAJE, TOMADO DE NEGRETE (2002) "ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE"	16
ILUSTRACIÓN 2. RAZONES DE LA IMPORTANCIA DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA, RESULTADO DEL ANÁLISIS DE GONZÁLEZ GALLI (2011).	27
ILUSTRACIÓN 3. ESQUEMA QUE MUESTRA LAS DISTINTAS CLASES DE SIMBIOSIS.	85
ILUSTRACIÓN 4. DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE SIMBIOSIS.	85
ILUSTRACIÓN 5.EJEMPLO DE LA RELACIÓN SIMBIÓTICA ENTRE EL CRUSTÁCEO (<i>Dardanus calidus</i>) Y LA ANÉMOMA (<i>Calliactis parasítica</i>).	86
ILUSTRACIÓN 6. ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE QUE EJEMPLIFICA LA RELACIÓN SIMBIOTICA ENTRE LOS CORALES Y LAS ZOOXANTELAS.....	88
ILUSTRACIÓN 7. DIAPOSITIVA QUE EXPLICA QUE SON LOS LÍQUENES.	91
ILUSTRACIÓN 8. DIAPOSITIVA QUE DESCRIBE LA SIMBIOSIS DE LOS LÍQUENES	92
ILUSTRACIÓN 9. DIAPOSITIVA QUE DESCRIBE LA INTEGRACIÓN DE LOS SIMBIONTES QUE FORMAN LOS LÍQUENES	92

SÍNTESIS

La Biología evolutiva se compone de una familia de modelos que explican diferentes fenómenos evolutivos (González-Galli, 2010, p.227).En esta investigación se analizan dos modelos:

a).El modelo de evolución por variación y selección natural, centro teórico de la teoría sintética de la evolución, que explica el proceso adaptativo de las especies y el origen de la diversidad biológica.

b).El modelo de endosimbiosis seriada, llamado también modelo simbiogenético, que propone a la simbiogénesis como una fuente de variación biológica y describe el desarrollo de la célula con núcleo a través de procesos simbiogenéticos.

El aprendizaje de ambos modelos permite a los alumnos realizar reflexiones de carácter filosófico sobre el humano y su naturaleza, es deseable que los alumnos adquieran una formación con perspectiva evolutiva a lo largo de sus estudios para que puedan resolver problemas y aplicar tecnologías para mejorar su calidad de vida individual y social (Castro, 2008, p.55). A pesar de la importancia de la Biología evolutiva, su enseñanza y aprendizaje presenta numerosos obstáculos, uno de ellos es la falta de relación entre los modelos evolutivos (González y Meinardi, 2013, p. 229).

Una alternativa que podría mejorar el aprendizaje de fenómenos como el origen de la variación o los procesos adaptativos durante la Educación Media Superior, es la asociación entre modelos evolutivos. Esta tesis desarrolla una propuesta didáctica que relaciona a los dos modelos evolutivos antes mencionados y de manera particular explica:

- 1).La importancia de los procesos simbióticos para la vida
- 2).La simbiogénesis como una fuente de variación biológica
- 3).Los procesos de endosimbiosis involucrados en la formación de la célula eucariota, y la manera en que la selección natural interviene en estos.

La investigación se realizó en tres etapas, la primera se basó en la búsqueda y selección de literatura especializada sobre el MEVSN, MES y la didáctica de la biología evolutiva, posteriormente se realizó la sistematización de la información seleccionada y se definieron seis unidades de análisis.

INTRODUCCIÓN

La **Biología evolutiva (BE)** es una disciplina compuesta por diferentes teorías y modelos que explican diferentes fenómenos del proceso evolutivo (González-Galli, 2010, p.227), el modelo más conocido y validado por amplios sectores de la comunidad científica actual para explicar la adaptación, es el **modelo de evolución por variación y selección natural (MEVSN)** que formularon Charles Robert Darwin (1809 – 1882) y Alfred Russel Wallace (1823 - 1913), propusieron que las especies descienden de un ancestro en común y que sus variaciones son objeto de selección natural (Cf. Hokayem y BouJaude, 2008, p.395).

A mediados del siglo XX el redescubrimiento de las leyes de Gregor Johann Mendel (1822 - 1884) enriqueció la explicación darwiniana y dió paso a la **teoría sintética de la evolución (TSE)** formulada principalmente por Theodosius Dobzhansky (1900 – 1975), Ernst Walter Mayr (1904 – 2005) y George Gaylord Simpson (1902 - 1984), la cual se convirtió en la visión dominante de la evolución hasta nuestros días (Lessa, 2009, p.77).

Otra teoría evolutiva importante es el **modelo de endosimbiosis seriada (MES)** propuesto por Lynn Margulis (1938 - 2011), que describe el origen de la célula eucariota por procesos simbiogénéticos (Schaechter, 2012, p.302).

Los modelos evolutivos mencionados explican dos aspectos diferentes del proceso evolutivo: en primer lugar el MEVSN da cuenta del origen de la adaptación y la diversidad biológica¹ (González-Galli, 2010, p.228), mientras que el MES explica una fuente de variación biológica diferente a la mutación o la recombinación genética, es decir, la simbiogénesis (Margulis y Sagan, 2003, p.36).

La enseñanza del MEVSN es una prioridad para la BE, porque sin este modelo, no es posible entender los procesos de adaptación, ni el origen de la diversidad, pero también es deseable profundizar las explicaciones sobre la evolución biológica introduciendo a la enseñanza modelos como el MES, siempre que se tome en cuenta la disponibilidad de tiempo y recursos (González y Meinardi, 2013, p.229).

La relación entre modelos evolutivos (como el MEVSN y el MES) podría facilitar la comprensión del proceso evolutivo

¹ El MEVSN es el único modelo evolutivo que explica el origen de la adaptación y ahí reside la especificidad de dicha teoría, en cambio, el origen de la diversidad biológica se puede explicar por procesos diferentes al MEVSN como la deriva génica o el efecto fundador (González y Meinardi, 2013, p.222).

El estudio del proceso evolutivo permite entender aspectos como la diversidad biológica y la vida misma, que adquieren pleno significado al ser analizados bajo una visión evolutiva (Castro, 2008, p.55).

Existen diversas razones por las que la evolución biológica es un tema prioritario para la **Educación Media Superior (EMS)**, como las siguientes:

- 1.- Motivos económicos y sociales: La formación de individuos con pensamiento evolutivo genera conocimiento que se puede emplear en el futuro para el desarrollo de nuevas tecnologías y resolver problemas de diferente índole: farmacéuticos, psicológicos, agronómicos, entre otros.
- 2.- Motivos prácticos: Permite adquirir valores de responsabilidad y ética en temas como la clonación o la bioingeniería de alimentos.
- 3.- Motivos democráticos: Para que los ciudadanos cuenten con conocimiento evolutivo, que permite resolver problemas de la vida diaria, apreciar la vida y la ciencia para relacionarse de mejor manera con sí mismo, con los otros y con el ambiente.
- 4.- Motivos filosóficos: Permite tener referentes para comprender la vida, lo vivo, su historia y sus transformaciones, el cambio como una característica inherente a la vida; lo valioso de la particularidad de cada individuo y la necesidad de la ética y la moral para vivir en sociedad (Cf. Smith, 2010, p. 4).

En este punto, es pertinente que se pregunte ¿cuál es el objetivo de enseñar BE durante la EMS?, tomando como base el modelo educativo que presenta el plan de estudios de la materia de Biología del **Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH)** se identifica que los objetivos son:

- 1). Que los estudiantes identifiquen a la Biología como una ciencia autónoma, que cuenta con sus propias metodologías, historia y filosofía.
- 2). Que los estudiantes desarrollen un pensamiento evolutivo que les permita entender las características y procesos de los seres vivos, tomando como base conocimientos biológicos como la genética o la ecología (Programa de estudios de Biología I a IV, 2014, p.3),

Además de los objetivos que establece la EMS (en el caso particular del CCH), la enseñanza del proceso evolutivo también podría permitir a los estudiantes resolver problemas de corte epistemológico, ético, medico, ambiental o alimenticio (González Galli, 2011, p.13).

A pesar de la relevancia del aprendizaje de esta disciplina biológica, en México existen diversos problemas en relación con la enseñanza y el aprendizaje de la evolución; en principio el papel de la BE en el plan curricular de la EMS es diferente según la institución educativa, se sabe que la estructura curricular, la gestión escolar y la necesidad educativa varía según la institución (Vargas, 2010, p.5), por lo que, los contenidos, técnicas, tiempos y materiales empleados durante el proceso de enseñanza y aprendizaje de la BE son diferentes según la escuela.

La **Comisión Metropolitana de Instituciones Públicas de Educación Media Superior (COMIPEMS)** en su sitio web reporta que en la zona metropolitana del Valle de México existen 17 escuelas públicas de EMS²

Al analizar los planes de estudio de estas instituciones de EMS en la zona metropolitana, se percibe que sólo en nueve se ubica la materia de Biología en el plan curricular, sólo en cinco se menciona a detalle contenido referente a la BE (**Anexo 1**), el modelo CCH es el que presenta mayor detalle al describir los conocimientos evolutivos y es el que más modelos teóricos de BE pretende enseñar (Tabla 1).

² Las instituciones que se describen en la investigación, son las estipuladas por la COMIPEMS para el concurso de ingreso a la EMS en la zona metropolitana del Valle de México, estos sistemas educativos son él: Colegio de Bachilleres (Colbach), Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica (CONALEP), Dirección General de Bachillerato (DGB), Dirección General de Educación de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGTA), Dirección General de Educación Tecnológica Industrial (DGETI), Instituto Politécnico Nacional (IPN), Secretaría de Educación del Gobierno del Estado de México (SE), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Cada sistema educativo cuenta con diferentes centros educativos, por ejemplo la UNAM cuenta con dos tipos de bachillerato: CCH y ENP, para información detallada sobre las diferentes escuelas que se ubican en cualquiera de los sistemas antes mencionados se recomienda visitar la siguiente página web: <http://comipems.org.mx/instituciones.php>

INSTITUCIÓN	CONTENIDOS	TIEMPO
CCH (UNAM)	<p>TEMA 1 -Teoría de Margulis de la endosimbiosis</p> <p>TEMA 2 -Teoría de Lamarck -Teoría Darwin-Wallace -Teoría sintética -Neutralismo -Equilibrio puntuado</p>	Programa de Biología II. Primera Unidad (4to semestre) 40 horas
CEB (DGB)	-BLOQUE 3 -Teoría endosimbiótica y de plegamiento de membrana	Biología I. (Tercer semestre) 16 horas
ENP (UNAM)	-Teoría lamarckiana -Teoría darwiniana -Teoría sintética de la evolución	Biología IV. Cuarta unidad (Quinto año) 15 horas
CBTIS/CETIS (DGETI)	<p>MATERIA BIOLÓGICA I -Variación genética -Selección natural -Biodiversidad -Origen de la vida -Adaptación -Especiación -Extinción</p> <p>MATERIA ECOLOGÍA -Evolución en general</p>	Biología I (Tercer semestre) y Ecología (4 semestre) 4 horas por semana

Tabla 1 Cuadro comparativo sobre los contenidos del MEVSN y el MES que se enseñan en Instituciones de EMS en la zona metropolitana del Valle de México

En relación con la falta de inclusión de temas de BE en el plan curricular de las escuelas de EMS, se ha identificado por Ruiz, Alvarez, Noguera y Esparza (2012) para el caso de México que los temas evolutivos ocupan espacios curriculares restringidos, lo que dificulta su enseñanza (Ruiz *et al.*, 2012, p.81).

Otro aspecto que dificulta la comprensión del proceso evolutivo, a parte de los pocos espacios que ocupan en el plan curricular, es la falta de criterios de relación entre los modelos evolutivos, de manera particular, relacionar el MES con el MEVSN es complicado por las siguientes razones:

- 1.- Se ha identificado que en algunos institutos y textos universitarios (principalmente de Estados Unidos) se enseña una versión diluida del MES³, aspecto que lleva a la confusión

³ El MES brinda una explicación sobre el origen de la célula eucariota al explicar el desarrollo endosimbiótico del nucleocitoplasma, los undulipodios, la mitocondria y los cloroplastos. Pero también propone una fuente de novedad biológica: la simbiogénesis. Es frecuente que no se menciona a la simbiogénesis como una fuente de variación biológica, ni su relación con la selección natural, lo que complica identificar que fenómeno evolutivo explica el MES y su relación con todo el marco teórico de BE.

de los estudiantes, incluso se ha argumentado que la explicación del modelo es frecuentemente incorrecta (Margulis, 2002, p.44).

2.- El MEVSN y el MES con frecuencia se presentan como si se enfrentasen en sus postulados principales, incluso se menciona que algunos neodarwinistas se niegan a aceptar la teoría de Margulis porque no encaja en sus concepciones (Sampedro, 2002, p. 35).

3.- Generalmente no se explica a profundidad la importancia de la simbiosis en el proceso evolutivo.

4.- Con frecuencia, no es claro el papel que ejerce la selección natural en las tres endosimbiosis que originaron al nucleocitoplasma, los undulipodios, las mitocondrias y los plástidos, ni en los procesos simbióticos generales.

5.- Es recurrente durante la enseñanza que no se aclaren cuáles son los fenómenos que explica cada modelo, cuáles son sus alcances y sus límites, con qué evidencias cuentan y si compiten entre sí en las explicaciones que ofrecen.

Por estos motivos, la enseñanza y el aprendizaje de ambos modelos (MEVSN y MES) es un reto de la Educación Media Superior en México que precisa ser atendido.

En esta tesis se describe una propuesta didáctica que relaciona el MEVSN y el MES, a partir del análisis de los fenómenos que cada modelo expone, con que evidencias cuenta cada uno y si llegan a competir entre ellos como se ha dado a entender en algunos casos.

Se pretende resaltar a través de la propuesta didáctica la relación de la variación con la selección natural, en nuestro caso particular, se procura ejemplificar como la variación por simbiogénesis fue objeto de selección natural durante el desarrollo de la célula eucariota.

En el primer capítulo se explica la importancia de la educación científica para poner de relieve la complejidad e importancia de enseñar ciencias. A lo largo del capítulo se explica:

1).- La prioridad de enseñar ciencias para promover el pensamiento crítico en los jóvenes, con el fin de que puedan tomar decisiones responsables para la sociedad (UNESCO, 2006, p.1), una corriente enfocada a promover el conocimiento científico es el proceso de **alfabetización científica (AC)** que pretende relacionar a la población (principalmente jóvenes y niños) con la ciencia (Meinardi, 2010, p.18).

2).- La complejidad de enseñar ciencias; se analiza brevemente el concepto de enseñanza y de aprendizaje para entender que aspectos dificultan el aprendizaje de los estudiantes, principalmente los concernientes a aspectos científicos

3).- El papel de la didáctica de la Biología, que cabe resaltar, no es un proceso fácil por la cantidad de disciplinas que integran esta ciencia. En relación con la didáctica de la Biología, se elucida la relevancia del aprendizaje de la BE.

El segundo capítulo aborda los modelos de BE que son objeto de análisis: el MEVSN, el MES y su relación; sobre estas teorías se revisa a detalle:

1).- El desarrollo histórico del MEVSN; de manera particular, se analizan los conceptos de: ascendencia común, gradualismo, variación, lucha por la supervivencia y selección natural, para explicar el desarrollo de los procesos de adaptación en las especies.

2). La estructuración del MES; se describe a detalle el origen simbiótico del nucleocitoplasma, los undulipodios, las mitocondrias y los cloroplastos, para explicar cómo se desarrolla la simbiogénesis y poner de relieve la importancia de los procesos simbióticos en el proceso evolutivo.

3). La relación del MEVSN con el MES; se comparan para enfatizar las diferencias conceptuales entre ambos modelos y esclarecer los puntos de polémica

En el tercer capítulo se describe brevemente la importancia y las complicaciones en torno a la enseñanza y aprendizaje de BE, se emplea como marco de referencia el análisis expuesto en los dos primeros capítulos y se describe la propuesta didáctica que relaciona el MEVSN y el MES.

PREMISA

Si se relacionan y enseñan ambos modelos se puede mostrar una imagen del conocimiento científico en construcción y la pluralidad teórica de la Biología evolutiva.

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar una propuesta didáctica que relacione dos modelos de BE: el MEVSN y el MES. Para lograr este objetivo, se identifican las diferencias teóricas del MES y el MEVSN, en relación con los fenómenos evolutivos que explica y los

conceptos principales de cada modelo, para ponerlos en relación y definir las unidades de análisis.

Los fenómenos evolutivos que se analizan son dos: la adaptación de las especies, y el origen de la variación.

La propuesta didáctica describe el desarrollo de la célula eucariota por procesos endosimbióticos y el efecto que la selección natural tuvo en dichos procesos. La intención de la didáctica es explicar la relevancia de la simbiogénesis en la evolución biológica para que los alumnos comprendan como se desarrollaron los organismos con núcleo y su relación con la selección natural.

Es importante mencionar que esta tesis desarrolla una didáctica que se puede aplicar en la EMS⁴ pero en ningún momento se ha puesto en práctica en alguna aula escolar, ya que ese no es el objetivo del trabajo.

METODOLOGÍA

El marco teórico se realizó mediante la búsqueda y selección bibliográfica de:

- 1.- Literatura especializada en medios cibernéticos y bibliográficos acerca del MEVSN, MES y la didáctica de la biología evolutiva
- 2.- La información seleccionada a través de la búsqueda se organizó en fichas de trabajo de acuerdo al tema de la investigación.
- 3.- Como resultado del análisis de las fichas, se definieron seis unidades de análisis para comparar el MEVSN con el MES, que son:
 - a). Fenómenos evolutivos de cada modelo
 - b). Objetos de estudio: Individuos, poblaciones y comunidades
 - c). Fuentes de variación
 - d). Competencia y cooperación

⁴ Se recomienda aplicar esta estrategia en instituciones que enseñen contenido sobre el MEVSN porque es recomendable que los alumnos cuenten con conocimientos previos sobre el funcionamiento de la selección natural en las poblaciones naturales. De acuerdo con el análisis de los planes de estudio este modelo se podría aplicar en instituciones como el CCH, la ENP, el CEB, el CETIS y el CBTIS.

e). Efecto de la selección natural en las relaciones simbióticas

f). Árboles y redes filogenéticos.

La comparación entre estos modelos, permite identificar diferentes fenómenos del proceso adaptativo. A partir del análisis de nuestro objeto de estudio (MEVSN y el MES) se pueden generar propuestas didácticas que contribuyan al proceso de enseñanza y de aprendizaje de BE en alumnos de EMS.

Para comprender porque es de vital importancia impulsar la investigación educativa para desarrollar estrategias didácticas sobre una disciplina como BE, es importante que se argumente la relevancia de enseñar contenidos científicos en las aulas de EMS, para entender el sentido de educar en ciencias.

CAPÍTULO 1: EL SENTIDO DE EDUCAR EN CIENCIAS

Las innovaciones científicas y tecnológicas han tenido repercusiones considerables en la vida de las personas, actualmente el desarrollo socioeconómico y cultural depende en gran medida de los avances en la ciencia y la tecnología. En este contexto es deseable una enseñanza de las ciencias que sea acorde y de buena calidad, no sólo para la formación de científicos, si no, para fomentar los conocimientos básicos de ciencias, las aptitudes prácticas y el pensamiento crítico de niños, jóvenes y adultos, lo que favorecerá que tengan una participación responsable en sociedad (UNESCO, 2006, p.1).

En este capítulo se describe la importancia de enseñar ciencias, para explicar la relevancia de los procesos de enseñanza y mostrar lo imprescindible de desarrollar propuestas didácticas como la que se presenta en esta tesis.

1.1 LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

La enseñanza de la ciencia no se ha desarrollado al mismo ritmo que los avances **científicos** y **tecnológicos**, en la Conferencia Mundial sobre la ciencia que se celebró en Budapest en 1999 se reconoció la urgencia por renovar, ampliar, y diversificar la educación en el campo de las ciencias (UNESCO, 2006, p.1).

A pesar de la importancia de innovar en la enseñanza de las ciencias existen tendencias que promueven que esta enseñanza se debe centrar en los conceptos que sirvan de base para llevar a cabo estudios superiores o universitarios, un problema es que la mayoría de los alumnos no eligen carreras de índole científica y cada vez hay menos estudiantes que desarrollan inclinaciones científicas en el bachillerato (Meinardi, 2010, p.16).

En este sentido diferentes datos estadísticos (principalmente de Europa) muestran una disminución importante en la cantidad de estudiantes de ciencias (Meinardi, 2010, p.17). La baja tasa de estudiantes y las dificultades en la enseñanza de las ciencias incluso en países desarrollados se atribuyen a diversos factores, entre los que se encuentran:

- La imagen inadecuada que se presenta de la ciencia y los científicos, esta no proporciona a los estudiantes una visión adecuada de la ciencia, razón que contribuye a no elegir o continuar con estudios científicos por parte del alumnado.
- La escasa alfabetización científica y tecnológica

- La falta de conexión entre la enseñanza y el ámbito afectivo origina que muchos estudiantes perciban la ciencia escolar como autoritaria, difícil, aburrida, impersonal, entre otros rasgos desfavorables, y, en consecuencia la rechazan y evitan (Vázquez-Alonso, Acevedo-Díaz y Manassero, 2005, p.3).

Para modificar la situación de la educación científica es fundamental promover innovaciones al momento de enseñar, éste es un tema prioritario, ya que se reconoce cada vez más que los conocimientos provenientes del campo de las ciencias se han vuelto necesarios en distintos ámbitos de la vida, de manera que multitud de conceptos y destrezas han dejado de ser patrimonio exclusivo de los científicos y han pasado a formar parte del lenguaje común y existen números ejemplos que respaldan estos hechos⁵ (Meinardi, 2010, p.22).

En este contexto carece de sentido emplear la enseñanza tradicional de las ciencias, actualmente la educación científica pretende alcanzar a todos los ciudadanos para impulsar la democracia y el bienestar del mundo, lo cual obliga de nueva cuenta a innovar y adaptar las finalidades de la enseñanza de la ciencia (Vázquez-Alonso *et al.*, 2005, p. 8). Así el docente moderno debe dinamizar y enriquecer el interés de los alumnos convirtiéndose en un guía sagaz y afectuoso que ayude al adolescente a edificar su propia educación (Tacca, 2010, p.150).

En respuesta a los inconvenientes de la enseñanza de la ciencia tradicional han surgido algunos movimientos identificados por lemas como: *ciencia, tecnología y sociedad, ciencia para la ciudadanía, alfabetización científica y tecnología o alfabetización científica* (Vázquez-Alonso *et al.*, 2005, p. 8).

En particular la alfabetización científica pretende generar un acercamiento de niños y jóvenes hacia la ciencia (Meinardi, 2010, p.18) y la importancia de este proceso en la educación es innegable (Tacca, 2010, p.150).

Por la importancia que el proceso de alfabetización tiene dentro de la enseñanza de la ciencia, se explican a continuación las características que lo distinguen.

⁵La apropiación de conceptos científicos en la vida cotidiana se muestra en los siguientes ejemplos: cuando se recomiendan pruebas de **DNA** para la determinación de parentescos, las decisiones en relación a que alimentos consumir, la elección de una fecundación *in vitro*, o la comprensión de las normas de higiene y cuidado en epidemias o pandemias (Jiménez Aleixandre, 2002 citado por Meinardi, 2010).

1.2 EL PROCESO DE ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA

En el lenguaje de la enseñanza de las ciencias se ha incorporado el lema AC como una expresión metafórica que a grandes rasgos establece determinadas finalidades y objetivos de la enseñanza de las ciencias (Meinardi, 2010, p. 25).

La alfabetización científica se orienta por el objetivo de lograr que la población adquiera conocimientos de ciencia que les permitan fundamentar sus decisiones con respecto a temas científicos y tecnológicos. De esta manera la población posiblemente será capaz de comprender, interpretar, y actuar responsablemente en los problemas del mundo (Tacca, 2010, p.150).

El proceso de AC es muy complejo, para facilitar el análisis de éste proceso sus características se agrupan en tres dimensiones⁶:

- 1.- Conceptual (comprensión y conocimientos necesarios). Sus elementos más citados son los conceptos de ciencia y las relaciones entre ciencia y sociedad
- 2.- Procedimental (procedimientos, procesos, habilidades y capacidades). Los rasgos que se mencionan con más frecuencia son: obtención y uso de la información científica, aplicación de la ciencia en la vida cotidiana, utilización de la ciencia para propósitos sociales y cívicos y divulgación al público de manera comprensible.
- 3.- Afectiva (emociones, actitudes, valores y disposición ante la alfabetización científica). Los elementos coincidentes son: aprecio e interés por la ciencia. (Acevedo, Vázquez y Mannasero, 2003 ,p.83).

Los especialistas en enseñanza, reconocen que las tres dimensiones señaladas deben estar siempre presentes en el proceso de AC, pero que el énfasis que se ponga en cualquiera de ellas puede aumentar o disminuir de acuerdo a la época (como ya ha ocurrido). Como resultado de la combinación de estas dimensiones con los argumentos de expertos en didáctica de las ciencias sobre por qué consideran a la AC como una finalidad de la enseñanza de las ciencias Kemp (2002) estableció tres tipos de AC que se basan en los beneficios: *personales*, *prácticos* y *formales* (Meinardi, 2010, p. 28).

⁶Las dimensiones de la AC que se mencionan en esta tesis, se definieron por Kemp en el 2002.

La alfabetización científica *personal* radica sobre todo en usar un amplio rango de conceptos y usar un extenso vocabulario científico en la vida cotidiana y en la cultura propia. Se incluyen elementos como la historia de la ciencia, la comprensión de la divulgación científica y el interés por la ciencia en la escuela para seguir aprendiendo ciencia después de la escolarización formal.

La alfabetización científica *práctica* consiste en saber usar la ciencia en la vida cotidiana y con propósitos cívicos y sociales. Otros elementos importantes son: saber obtener información sobre ciencia, comprender la divulgación de la ciencia, particularmente los mensajes de los medios de comunicación y entender las relaciones entre la ciencia y la sociedad.

La alfabetización *formal* implica muchas cosas; conocer conceptos de ciencia, comprensión de los principios científicos, saber sobre la naturaleza de la ciencia y las relaciones entre ciencia y sociedad, la obtención de información científica, desarrollo de una aptitud para usar la ciencia en la vida cotidiana y participar democráticamente en la sociedad civil para tomar decisiones sobre asuntos de ciencia y tecnología (Acevedo *et al*, 2003, p. 84).

Existen numerosas investigaciones, proyectos y conferencias internacionales (como la de Budapest) sobre educación que ponen de relieve la urgencia de brindar una formación científica que permita a la población tomar decisiones sobre ciencia y tecnología, y en este sentido la AC es un componente importante de la educación ciudadana (Gil, Sifredo, Valdés y Vilches, 2005, p.20).

Los objetivos de la enseñanza y la alfabetización científica, contribuyen a dar dirección a los procesos de enseñanza y de aprendizaje en ciencias, que son por demás complicados, se reconoce que a pesar de la relevancia del tema existe cierto rechazo por la ciencia y su aprendizaje (Fernández, Gil, Valdés y Vilches, 2005 p.30).

En consecuencia en la educación existen retos que se deben enfrentar tomando en cuenta la relación de los estudiantes con los entornos sociales, naturales y tecnológicos (López, Moreno, Nava, Urbieto, 2008, p.1). Para contribuir al cumplimiento de los objetivos educativos, es importante involucrarse en los procesos de enseñanza y aprendizaje, ya que éstos no son sencillos y la enseñanza de la ciencia no es un proceso fácil.

A continuación se analiza de forma breve el proceso de enseñanza y de aprendizaje para explicar la relevancia y complicaciones que existen al educar sobre ciencias como la Biología.

También se pone de relieve la importancia de generar propuestas didácticas que apoyen la enseñanza de las ciencias, cómo la que se presenta en esta tesis

1.3 EL PROCESO DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

La enseñanza⁷ se puede entender según Medina (2003) como una manera particular de orientar el aprendizaje y generar ambientes formativos entre los docentes y los estudiantes, para desarrollar en los estudiantes la práctica reflexiva e inculcar la cultura y el conocimiento en función de los valores educativos (Medina, 2003, p. 44).

Para Meinardi (2010) la enseñanza y el aprendizaje son dos procesos distintos que guardan una íntima relación, en su concepción sólo se realiza la enseñanza cuando hay aprendizaje, al respecto menciona que:

La relación que establecemos habitualmente es que si hay enseñanza hay -o debería haber- aprendizaje; sin embargo, bajo esta concepción la relación se invierte: sólo hay enseñanza cuando se produce el aprendizaje esperado. Este aprendizaje es definido como un cambio en la conducta del aprendiz [...] (Meinardi, 2010, p.97).

De los modelos de enseñanza el más empleado en las aulas es el tradicional que se basa en la transmisión de conceptos establecidos a los alumnos por parte del profesorado, no es seguro que sea dinámico y llega a plantear vicisitudes en el aula; con frecuencia no hay conexión entre los objetivos que plantea el profesor y los objetivos de los alumnos (Pozo y Crespo 2006, p.273). Como consecuencia de la innovación en la educación, existen enfoques en la enseñanza diferentes al modelo tradicional, Pozo y Crespo (2006) identifican los siguientes:

- a). La enseñanza por descubrimiento
- b). La enseñanza expositiva
- c). La enseñanza mediante el conflicto cognitivo
- d). La enseñanza mediante investigación dirigida
- e). La enseñanza por explicación y contraste de modelos⁸ (Pozo, 2006, p. 273-299).

⁷ El proceso de enseñanza es complejo, definir y estructurar éste proceso no es parte de los objetivos de esta tesis, pero vale la pena mencionar que la enseñanza toma como base diversas teorías que facilitan al profesorado la toma de decisiones en relación con los procesos formativos (Medina, 2003, p. 44). Para ver información detallada sobre las teorías de la enseñanza se recomienda consultar el libro *"Didáctica General"* (2003) de Medina y Mata.

⁸ Para consultar información detallada de los modelos de enseñanza se recomienda consultar el texto *"Teorías cognitivas del aprendizaje"* (1997) de Pozo J. I.

Es importante reconocer la estrecha asociación entre los modelos de aprendizaje y los de enseñanza (Meinardi, 2010, p.97). La enseñanza implica una asociación directa con el aprendizaje, definir el proceso de aprendizaje es sumamente complejo, a continuación se presentan una serie de conceptos que contribuyen a definir al aprendizaje.

<p>(Huerta, 1978).</p> <p>Se refiere al cambio relativamente permanente que se opera en el rendimiento o conducta del sujeto, como innovación, modificación o eliminación de respuestas, causado en todo o en parte por la experiencia.</p>	<p>(Diccionario de las ciencias de la educación,1983)</p> <p>Es un proceso mediante el cual un sujeto adquiere destrezas o habilidades prácticas, incorpora contenidos informativos, adopta nuevas estrategias de conocimiento y/o acción.</p>	<p>(Woolfolk, 1992)</p> <p>Un cambio en la persona que está aprendiendo. El cambio, para bien o para mal, puede ser deliberado o no intencional. Para que pueda ser considerado como aprendizaje, este cambio debe llevarse a cabo por la experiencia por la interacción de una persona con su medio.</p>	<p>(Schunk, 1997)</p> <p>Es un cambio perdurable en la conducta o en la capacidad de comportarse de una determinada manera, la cual resulta de la práctica o de alguna otra forma de experiencia.</p>
<p>(Febles, 1999)</p> <p>Es un proceso que partiendo de lo externo, del medio como fuente proveedora, se realiza por y en el individuo atendiendo a sus necesidades y a través de la actividad y la comunicación propias y de los otros como portadores estos últimos, de toda la riqueza individual y social.</p>	<p>(Negrete, 2002)</p> <p>El aprendizaje es un proceso que permite realizar el fenómeno de socialización e integración del sujeto con la realidad y con los demás sujetos</p>	<p>(Navarro, 2004)</p> <p>[,,] Es la acción de instruirse y el tiempo que dicha acción demora. También, es el proceso por el cual una persona es entrenada para dar solución a situaciones.</p>	<p>(Aguilar, 2004)</p> <p>El aprendizaje es producto de la experiencia, y en tal virtud el tipo de aprendizaje que se tiene resultara de la clase de experiencia que se vive; la experiencia se da en la interacción de una persona con el ambiente que percibe</p>

Mi definición: El aprendizaje es un proceso donde el sujeto adquiere conocimientos y desarrolla destrezas a través de la experiencia, la interacción con otros sujetos y con el medio para que pueda resolver problemas e integrarse en sociedad.

Tabla 2 Definiciones del concepto de aprendizaje por diferentes autores

El aprendizaje es un proceso que tiene diferentes componentes, Negrete (2002) identifica las siguientes partes del proceso de aprendizaje:

:

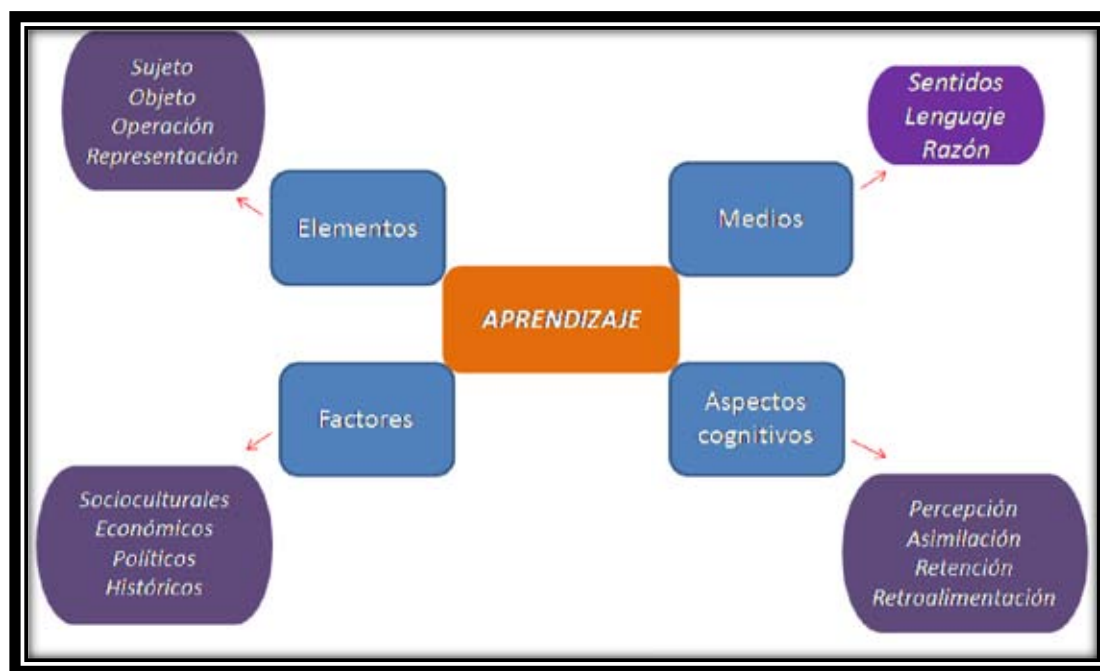


Ilustración 1 Esquema de los componentes del proceso de aprendizaje, tomado de Negrete (2002) "Estrategias de aprendizaje".

En los procesos de enseñanza y de aprendizaje los elementos fundamentales son: el alumno, el docente y el contenido (López, *et al.*, 2008, p.2).

La relación entre los sujetos (los docentes y los alumnos) con el objeto de estudio (en nuestro caso particular el MEVSN y el MES) es por demás significativa porque se entiende a los sujetos como entes biopsicosociales, con historias de vida que influirán directamente en el modo que perciben la realidad (natural o social), entonces la enseñanza, el aprendizaje y el análisis o el interés por los diferentes objetos de estudio será mediado en gran parte por la cultura, la historia de vida y las ideas previas de los sujetos (López, Moreno y Nava, 2010, p.28).

En esta tesis se resalta la relación de estos elementos por que la falta de relación entre los sujetos y el objeto de estudio dificulta el aprendizaje significativo. De manera particular, en el aula se identifico por López *et al.*, (2010) que se pueden presentar las siguientes situaciones:

- a) Los alumnos idealicen determinado objeto de estudio y le agreguen aspectos adicionales que no necesariamente maneja el objeto de estudio.
- b) Los alumnos no consideren aspectos importantes de algún modelo teórico porque lo consideren irrelevante o no tengan los conocimientos adecuados para apreciarlos.
- c) Los alumnos pueden presentar errores significativos durante el aprendizaje que están directamente relacionados con los errores personales.
- d) Se puede sesgar la apreciación de un fenómeno porque los alumnos cuenta con ideas previas respecto a lo que se observa, y estas ideas no siempre coinciden con el fenómeno que se estudia (López *et al.*, 2010, p. 31).

En la relación de estos elementos con la enseñanza y el aprendizaje se ubican tres dimensiones: **epistemológica, psicológica y pedagógica** (López *et al.*, 2008, p.2). La dimensión epistemológica permite diferenciar el conocimiento científico del conocimiento común que se aprende de forma cotidiana, con lo que se motiva al individuo a reflexionar sobre sus nociones y creencias (López *et al.*, 2010, p.21) mientras que las dimensiones psicológica y pedagógica pretenden dar respuesta a tres preguntas rectoras:

[...]¿Cómo aprende el ser humano y, por ende, el alumno? ¿Cómo se transfiere el conocimiento aprendido a otro ser humano?, y como a un grupo de seres humanos? En el caso concreto de la enseñanza de la Biología ¿cómo se transmiten los conceptos que dan unidad a los seres vivos? [...] (López *et al.*, 2010, p. 32).

Para dar respuesta a todas esas incógnitas es necesario que se entienda a grandes rasgos el proceso de aprendizaje (López *et al.*, 2010, p.32) para comprender por qué no se obtienen los resultados esperados durante la enseñanza de la ciencia (en particular de la BE en nuestro caso), es importante analizar (como se ha hecho) de forma breve pero concisa, en qué consiste el proceso de enseñanza y de aprendizaje para entender por qué son procesos complejos y es imprescindible prestarles particular atención.

Una alternativa para incrementar los resultados favorables durante la enseñanza de las ciencias es el desarrollo de estrategias de aprendizaje o didácticas específicas sobre determinado tema.

En este sentido, las nuevas estrategias de aprendizaje difieren del marco de enseñanza tradicional, pues estas estrategias conciben el aprendizaje de las ciencias como una construcción de conocimientos, dicha construcción debe partir necesariamente de un conocimiento previo, cuando es así, se puede hablar que las estrategias se desarrollan entorno a el modelo constructivista (Carrascosa, Gil y Valdés, 2005 p. 131)

1.3.1 El constructivismo

Se ha identificado y descrito las etapas y elementos más relevantes del proceso de enseñanza y aprendizaje, como el objetivo de esta tesis es estructurar una propuesta didáctica sobre BE, es importante que se identifique el marco teórico que respalda la didáctica.

Como se mencionó, las estrategias de aprendizaje en la ciencia muchas veces siguen el modelo constructivista (no es general ni una regla), la didáctica que presenta esta tesis se guía por este modelo, por lo que, se describe brevemente que es el constructivismo.

Es forzoso mencionar que la concepción del constructivismo no es una teoría, más bien, proporciona un marco explicativo, se entiende como un marco articulado de conceptos que permite la diagnosis, la toma de decisiones y el establecimiento de dictámenes sobre la enseñanza (Coll, *et al.*, 2007, p.8). En este sentido, según el autor que se consulte, el constructivismo se entiende como una rama del cognitivismo, una teoría⁹ o una corriente filosófica, para el constructivismo la mente del individuo depura lo que percibe y traduce su visión del mundo, es decir, éste produce su propia realidad (López *et al.*, 2010, p. 37).

La concepción constructivista parte de dos hechos; el primero es que la escuela intenta poner a disposición del alumno aspectos imprescindibles de la cultura para su desarrollo cognitivo y personal y así los alumnos desarrollen capacidades para su inserción social por ejemplo, el segundo hecho se refiere al carácter activo del aprendizaje, se acepta que éste es resultado de

⁹ Con respecto al término teoría para referirse al constructivismo, Solé y Coll han explicado por qué no se debería considerar una teoría, para información detallada se recomienda consultar el libro "*El constructivismo en el aula*".

la construcción personal, dentro de esta construcción intercede el sujeto pero los factores culturales son irremplazables dentro de esta construcción (Coll, *et al.*, 2007, p.15).

Las principales características de la visión constructivista se pueden vislumbrar de la siguiente manera:

- a). Lo que existe en la mente del sujeto que aprende es de vital importancia
- b). Para encontrar el sentido del objeto de estudio es necesario establecer relaciones
- c). Quien aprende construye activamente significados
- d). Los estudiantes son responsables de su propio aprendizaje (Driver, 1986, citado en Carrascosa *et al.*, 2005 p. 131).

En este modelo durante los proceso de enseñanza y aprendizaje se construye, pero es esencial que se enseñe y se aprenda cómo construir (Coll, *et al.*, 2007, p.15). Al respecto Coll *et al.*, (2007) mencionan que:

[...] Para la concepción constructivista aprendemos cuando somos capaces de elaborar una representación personal sobre un objeto de la realidad o contenido con la finalidad de aprehenderlo; no se trata de una aproximación vacía, desde la nada, sino desde las experiencias, intereses y conocimientos previos que presumiblemente pueden dar cuenta de la novedad. Podríamos decir que con nuestros significados nos acercamos a un nuevo aspecto que a veces sólo parecerá nuevo pero que en realidad podremos interpretar perfectamente con los significados que ya poseíamos, mientras que otras veces nos planteará un desafío al que intentamos responder modificando los significados de los que ya estábamos provistos de forma que podamos dar cuenta del nuevo contenido, fenómeno o situación. En ese proceso, no sólo modificamos lo que ya poseíamos, sino que también interpretamos lo nuevo de forma peculiar, de manera que podamos integrarlo y hacerlo nuestro (Coll, *et al.*, 2007, p. 16).

Cuando se da el proceso de modificación de los conocimientos previos e integración e interpretación de los conocimientos nuevos a través de la construcción del conocimiento se habla de *aprendizaje significativo* (Coll, *et al.*, 2007, p. 16). Bajo la visión constructivista se establece que el aprendizaje es un proceso constructivo interno que le da estructura a los conocimientos de los sujetos, depende en gran medida del nivel cognitivo del sujeto y parte de

las ideas o conocimientos previos debido a que es una fase de reconstrucción de los saberes que implica la reorganización de esquemas mentales y se facilita por la mediación e interacción con otros, todo este proceso descrito se produce cuando el alumno presenta un conflicto entre lo que sabe con lo que debería saber e inicia la nueva construcción (Negrete, 2002, p. 29).

El aprendizaje significativo no conduce a la acumulación de nuevos conocimientos, más bien, se refiere a la integración, modificación, el establecimiento de relaciones y esquemas de conocimiento que tenga estructura y organización (Coll, *et al.*, 2007, p. 16).

Es importante señalar el papel del docente en este modelo ya que es un inductor del aprendizaje y no un emisor del conocimiento como en el modelo tradicional de enseñanza y el alumno tiene un papel activo en la formación de su aprendizaje, además se identifica que es posible aprender de los compañeros y otras personas (Negrete, 2002, p. 28):

Se han descrito los principales conceptos que aborda el modelo constructivista así como su relevancia para el aprendizaje significativo, es pertinente recordar que el bosquejo teórico que se presentó permite comprender el enfoque de la propuesta didáctica de este trabajo

A continuación se explica brevemente qué es la didáctica para poner de relieve la importancia de la didáctica de la Biología.

1.4 LA DIDÁCTICA EN LA BIOLOGÍA

La didáctica es una disciplina que se caracteriza por su aportación de modelos, enfoques y valores destinados a las decisiones educativas (Medina y Mata, 2002, p. 5). Para esclarecer la definición de aprendizaje es importante considerar las propuestas que diferentes autores tienen sobre el tema (Hernández, 2014, p. 13).

Para facilitar la comprensión del término didáctica se presentan diferentes definiciones sobre el concepto, a partir de estas definiciones se estructura una definición que sirve como concepto guía en el trabajo.

González-Soto (1989)	Zabalza (1990)	De la Torre (1993)	Contreras (1994)
Un campo científico de conocimientos teórico-prácticos y tecnológicos cuyo eje central es la descripción-interpretación y práctica proyectiva de los procesos intencionales de enseñanza-aprendizaje.	La didáctica actual es ese campo de conocimientos, de investigaciones, de propuestas teóricas y prácticas que se centran sobre todo en los procesos de enseñanza-aprendizaje.	La didáctica es una disciplina reflexivo-aplicativa que se ocupa de los procesos de formación y desarrollo personal en contextos intencionadamente organizados.	Disciplina que explica los procesos de enseñanza-aprendizaje para proponer su realización consecuente con las finalidades educativas.
Bolaños (1995). [...] como una actividad de la instrucción y para la instrucción, y como reflexión para el aprendizaje y las actividades que el maestro desarrolla para producirlo.	Díaz (2002) La didáctica es una disciplina pedagógica que analiza, comprende y mejora los procesos de enseñanza – aprendizaje, las acciones formativas del profesorado y el conjunto de interacciones que se generan en la tarea educativa	Medina, (2002). Es una disciplina de naturaleza pedagógica, orientada por la finalidad educativa y comprometida con el logro de la mejora de todos los seres humanos, mediante la comprensión y transformación permanente de los procesos sociocomunicativos, y la adaptación y el desarrollo apropiado del proceso de enseñanza-aprendizaje	Hernández (2014) La didáctica es una ciencia y tecnología que se construye desde la teoría y la práctica, en ambientes organizados de relación y comunicación intencional, en donde se desarrollan los procesos de enseñanza aprendizaje para la formación de la y el alumno
Mi definición: Es una disciplina de la pedagogía que se centra en mejorar los procesos de enseñanza y de aprendizaje a través de la investigación y la práctica educativa, la investigación didáctica contribuye a que los estudiantes desarrollen un aprendizaje significativo sobre cierto tema.			

Tabla 3. Definiciones del concepto de didáctica por diversos autores.

Las estrategias didácticas facilitan y permiten a los alumnos tener una mayor competencia y regulación de sus conocimientos, por otra parte los docentes los emplean como recursos

educativos en la enseñanza para propiciar el aprendizaje significativo (Hernández, 2014, p.15). En la actualidad, la búsqueda de estrategias de enseñanza se centra con frecuencia en áreas específicas del conocimiento (López, *et al.*, 2008, p. 61).

La didáctica de la Biología dentro del proceso de enseñanza y de aprendizaje es una tarea complicada pero en medida necesaria por la importancia de enseñar a los alumnos los principales paradigmas de la Biología para que puedan aplicar los conocimientos biológicos en la vida cotidiana, a continuación se describe brevemente la implicación de la didáctica para la Biología.

La Biología es una ciencia unificada con un marco conceptual común compuesto por paradigmas definidos y al mismo tiempo integra a múltiples disciplinas¹⁰, la Biología se forma como ciencia durante la segunda mitad del siglo XIX con el desarrollo de los paradigmas antes mencionados (la teoría celular, la teoría de la homeostasis, la teoría de la evolución y la teoría de la herencia), que se desarrollan en respuesta de una secuencia de preguntas de corte filosófico sobre la noción de la vida y la generación y diversidad de los seres vivos (Ledesma-Mateos, 2008 ,p.442).

Biología es una ciencia autónoma en relación con su objeto de estudio, los procedimientos y los criterios que se emplean durante el trabajo científico, se compone de diversas disciplinas que contienen gran cantidad de conceptos y metodologías, por lo que su marco teórico está en constante construcción.(González, Galindo y Álvarez, 2001, p. 133).

En este sentido, el conocimiento se incrementa rápidamente lo que dificulta la revisión de los recientes avances, un ejemplo de este constante avance se describe por López *et al.*, (2008).

Hace dos décadas –por mencionar un ejemplo- aun se hablaba con reserva de la clonación, del ciclo celular y de las ciclinas, hoy es necesario hacer una revisión documental frecuente con el fin de estar al día en la actualización que requiere la investigación. (López *et al.*, 2008, p.17).

¹⁰ Como disciplinas se entiende a la morfología, fisiología, bioquímica, genética, botánica, zoología, embriología, neurobiología, entre otras.

El enunciado anterior implica cierta problemática para el proceso de enseñanza y aprendizaje de la Biología, debido a que la diversidad de conceptos cada vez es mayor y eso dificulta la comprensión en los estudiantes, por otra parte establecer las estrategias empleadas para enseñar y aprender distintos fenómenos biológicos es difícil en la medida que se expliquen fenómenos con marcos conceptuales muy pequeños o demasiado grandes (López, *et al.*, 2008, p. 28).

En los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la Biología, que no sólo se debe enseñar el conocimiento que se ha validado históricamente, es aún más apremiante que se enseñen y aprendan actitudes que permitan desarrollar la capacidad de los alumnos para, identificar, delimitar y resolver problemas de diferente índole (González *et al.*, 2001, p. 144).

Para contribuir a un aprendizaje significativo de la Biología se debe considerar que las técnicas didácticas deben tener presentes las características del objeto de estudio y dado que la Biología se integra por diferentes disciplinas con diversidad de conceptos es importante sistematizar el conocimiento biológico que se quiere enseñar y aprender.

En este sentido, López *et al.*, (2010) han identificado tres modelos que organizan los temas de Biología para organizar y transmitir los conocimientos biológicos:

- a). Los conceptos de unidad, diversidad y continuidad
- b). Los niveles de organización biológico
- c). Los paradigmas de primer orden para la Biología (López *et al.*, 2010, p.42).

En esta tesis, se toma como objeto de estudio a un paradigma de primer orden: la evolución¹¹ y la disciplina que se encarga de estudiar el hecho de la evolución es la Biología evolutiva.

Las razones para prestar atención a la BE como objeto de estudio para su enseñanza y aprendizaje son diversas; en principio es una teoría central para la comprensión de la Biología

¹¹ A partir de la clasificación de López *et al.*, (2010) se puede identificar que en esta tesis se realiza un amplio análisis del paradigma de la evolución, pero es importante señalar que no se analiza la evolución biológica, lo que se analiza y debate son los diferentes modelos sobre Biología evolutiva(en este caso sólo el MEVSN y el MES) que contribuyen a explicar ciertos aspectos del proceso evolutivo, en nuestro caso particular se analiza cómo se produce la adaptación y se genera la variación biológica con el fin de generar una propuesta didáctica.

ya que todo sistema biológico es resultado del proceso evolutivo¹² (González-Galli, 2010, p.225). Además se debe tener en cuenta que la BE explica una gran gamma de fenómenos biológicos a través de diversos modelos teóricos (González-Galli, 2010, p.227), como se mencionó, es deseable sistematizar la información de manera que quede claro que fenómeno evolutivo se quiere explicar y a través de qué modelo.

Fomentar la enseñanza, el aprendizaje y el desarrollo de didácticas sobre BE es importante, porque proporciona conocimiento útil no sólo para los biólogos, si no para la sociedad. A continuación se explica cuál es la relevancia de enseñar y aprender sobre esta disciplina.

1.5 RELEVANCIA DE LA DIDÁCTICA EN BIOLOGÍA EVOLUTIVA

*“En Biología nada tiene sentido si no se considera a través del punto de vista de la evolución”*¹³ es decir, para comprender los procesos biológicos es imprescindible contar con una perspectiva evolutiva (Dobzhansky, 1973, p.125). De forma particular para los investigadores de ciencias biológicas esta visión es básica. Por ejemplo, los biólogos que se especializan en investigaciones sobre biología molecular comparan secuencias de genes de diferentes especies, así infieren que secciones del genoma codifican los productos génicos más importantes funcionalmente, biólogos que se dedican a la ecología deben considerar la variabilidad y la dinámica del cambio genético en relación con la distribución y la abundancia de las especies. (Futuyma, 1998 p.99).

Pero el pensamiento evolutivo no sólo es relevante para los biólogos, Hasson (2006) ha explicado las contribuciones más destacadas de esta disciplina que son de relevancia en otras áreas del conocimiento como:

1. Comprensión de los seres humanos: Los estudios evolutivos permiten que se analicen; las relaciones evolutivas entre los humanos y otras especies, el proceso evolutivo de las características humanas y la relevancia de la variabilidad genética intra e interespecífica. Se ha dado pie al análisis de las diferencias entre “razas” y “clases sociales” desde una

¹² En este sentido vale la pena recalcar que para entender por qué los sistemas biológicos cuentan con determinada estructura, función o forma se debe analizar cómo era el sistema que lo precedió (ancestría en común). Por ejemplo para entender porque los humanos cuentan con cinco dedos específicamente se debe tener conocimiento de los ancestros del humano. Entonces los organismos que estudia, el taxónomo, el fisiólogo o el anatomista (por mencionar algunas líneas de investigación) son resultado del proceso evolutivo, por eso se menciona que los sistemas biológicos son consecuencia de éste proceso. (González Galli, 2010, p.225).

¹³ Theodosius Dobzhansky postuló su trascendente frase en el artículo *Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*, en 1973.

perspectiva científica y se ha demostrado que no existe ningún fundamento genético para justificar la clasificación de los grupos raciales que han descrito los antropólogos sociales y tampoco existe un fundamento evolutivo para justificar las diferencias entre clases sociales, que se deduce son resultado del injusto reparto de los recursos de la humanidad (Hasson, 2006, p. 99).

2.- Ciencias de la salud: Los aportes de los estudios evolutivos a estas disciplinas son innumerables, por ejemplo, se conoce que los microorganismos patógenos son transportados por insectos u otros vectores, pero el control de los patógenos que causan distintas enfermedades se facilita si se conoce la dinámica del vector. Si se emplea la sistemática evolutiva se puede identificar correctamente a los vectores e implementar metodologías ecológicas para el control de estos (Hasson, 2006, p. 100).

3.- La genómica y la salud: En los proyectos de secuenciación del genoma se puede obtener y analizar información que permite se reconstruya la historia de ciertos genes y se establezcan posibles correlaciones entre historias genealógicas particulares¹⁴. Empleando el modelo del reloj molecular se ha relacionado el incremento de algunos alelos particulares de la enzima *glucosa-6-fosfato-deshidrogenasa* con epidemias de paludismo. Estos estudios son fundamentales para que se identifiquen regiones genómicas implicadas en la respuesta a diferentes tipos de enfermedades. (Hasson, 2006, p. 101).

4.- Agricultura: La selección artificial ha servido para el desarrollo de variedades de cultivos y animales domésticos, actualmente se emplean técnicas de ingeniería genética para transferir genes con características de interés que brinden resistencia a insectos u hongos, de especies silvestres a especies cultivadas. El conocimiento de biología evolutiva es fundamental en los debates sobre los riesgos de estas aplicaciones (Hasson, 2006, p. 101).

5. Manejo ambiental y conservación: Las actividades humanas como la sobrepesca, la contaminación y la destrucción del hábitat han llevado a la extinción de muchas especies, por lo que la conservación de la biodiversidad debe ser un compromiso prioritario a nivel mundial tanto, la biología de la conservación utiliza principios y conocimientos generados por los investigadores de la evolución, la genética de poblaciones permite deducir la

¹⁴Un ejemplo es el análisis de alelos que han aumentado su frecuencia de formas súbita en tiempos recientes, en el caso del SIDA se ha identificado una variante del gen CCR5 denominada $\Delta 32$ (delta 32) que es particularmente frecuente en poblaciones europeas y confiere resistencia a la infección parece haber aumentado su frecuencia hace 700 años. Se sospecha que el agente selectivo responsable de este incremento fue una enfermedad epidémica

manera de reducir el deterioro genético en las poblaciones pequeñas amenazadas , medir la diversidad genética y distinguir entre especies. Sobre todo el empleo de una visión evolutiva permite brindar un enfoque multidisciplinario al diseño de programas efectivos para la conservación de la biodiversidad (Hasson, 2006, p. 103).

Existen casos particulares como los relacionados con la salud humana, donde se aprecia de forma más directa la importancia de la relación entre la población y el pensamiento evolucionista, por ejemplo del virus de la gripe aviar ocasionan en las personas diversos síntomas graves, por lo que es fundamental conocer las características de este tipo de virus, con los análisis evolutivos se ha reconstruido el genoma completo de este virus y se ha comparado con otro virus extremadamente semejante; el de la gripe española, con la finalidad de entender porque la gripa española fue una pandemia y si existen posibilidades de que la gripe aviar lo sea también, los resultados de estas investigaciones mostraron que la cepa del virus de la gripa española de 1918 perdió su dependencia de la tripsina y en su lugar empleaba una enzima común en su hospedador, dicho factor puede explicar su virulencia en humanos, aspecto que podría apuntar a nuevas formas de prevenir la infección. (Culotta y Pennisi, 2005, p. 1879).

La enseñanza y el aprendizaje de BE son deseables porque permite interpretar incluso a la vida misma. Si se consideran los puntos explicados se puede entender a grandes rasgos la relevancia de la enseñanza de estos procesos. Es cierto que parece que las investigaciones evolutivas no tienen relevancia para la población humana si se analizan de manera superficial, pero la realidad es que la BE está sumamente relacionada con la resolución de problemas cotidianos de la población.

Es primordial reconocer que si se analizan los aspectos biológicos bajo una perspectiva evolutiva, la unidad funcional de los organismos y la diversidad biológica adquieren un pleno significado para la población humana y entonces se convierte en un hecho cercano y de importancia para las personas (Castro, 2008, p.55).

A continuación se muestra un esquema explicativo que enlista los diversos aspectos que explica la Biología evolutiva, a partir de la investigación de González Galli¹⁵ (2011).

¹⁵ Entre las principales citas de González Galli (2011) sobre la importancia de la Biología evolutiva se encuentra a Mayr, Nesse y Williams, Dawkins, entre otros. Para mayor información sobre el tema se recomienda consultar la tesis doctoral del Dr. Galli "*Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*".

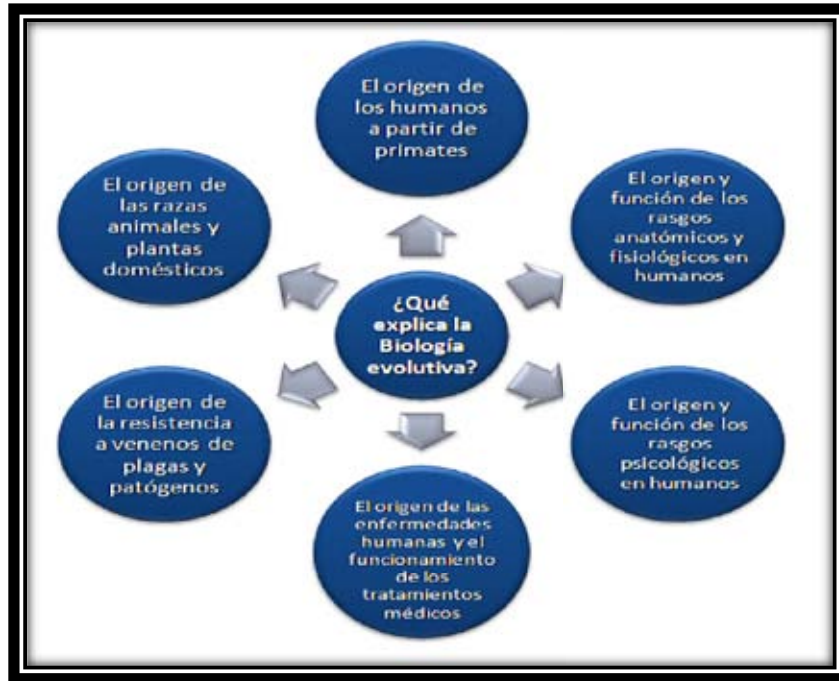


Ilustración 2 Razones de la importancia de la Biología evolutiva, resultado del análisis de González Galli (2011).

Es pertinente que se pregunte ¿por qué estos aspectos son relevantes para la población?, según la ilustración 2 se puede deducir que son importantes porque:

- 1).Fomenta la comprensión de las diferencias fisiológicas de los humanos (como el cabello rubio, la estatura, entre otros.), lo que permite vislumbrar que todos cuentan con características únicas que los hacen irrepetibles, éste enunciado se relaciona con los valores y el respeto a todas las personas.
- 2).Permite entender cómo el desarrolló y funcionamiento de la mente humana, y así entender porque no todas las personas tienen los mismos pensamientos o ideologías.
- ,3).Explica porque se desarrollaron determinadas enfermedades genéticas (como el síndrome de Down o el síndrome de Turner), como se heredan y la frecuencia con la que se presentan en una familia con antecedentes médicos por ejemplo.
- 4). Permite que se entienda como las plagas (como los piojos o las cucarachas) son resistentes a insecticidas o productos químicos que se utilizan por largos periodos de tiempo.

5). Permite entender que son las razas domesticas y sus características, aspecto relevante para discutir y tomar decisiones sobre productos transgénicos por ejemplo.

6). Facilita que los humanos entiendan su relación con los demás seres vivos.

Por lo anterior, es deseable que los alumnos adquieran una formación científica con esta perspectiva a lo largo de sus estudios, de esta manera se podrían realizar reflexiones de carácter filosófico sobre el ser humano, su naturaleza y la relación que mantiene con el ambiente, entre otros aspectos (Castro, 2008, p 55).

A lo largo de este capítulo se explicó la importancia de la enseñanza de la ciencia, siendo la AC una corriente que encausa los objetivos de la educación científica, cuya intención es que la población adquiera conocimiento científico para fundamentar sus acciones.

Es deseable identificar en la enseñanza de la ciencia un marco teórico sobre aspectos imprescindibles de éste proceso para establecer las fases más delicadas y por ende las que necesitan de mayor atención. En este sentido, se puede deducir que es importante analizar la relación de los elementos (sujeto /objeto de estudio) durante el aprendizaje, porque ésta asociación permite identificar que contenido se va a enseñar y a quien va dirigido, lo que facilita el desarrollo de propuestas didácticas específicas en este caso enfocadas a la Biología.

En el caso de esta tesis el objeto de estudio es la Biología evolutiva, en particular dos modelos: el MEVSN y el MES, que explican aspectos diferentes del proceso evolutivo (la adaptación y el origen de la variación), los pilares conceptuales de estos modelos son complicados de enseñar y aprender, por lo que es deseable realizar un análisis (cómo el que se presenta en este trabajo) que permita sistematizar la información para reconocer los fenómenos que cada modelo explica e identificar los puntos de polémica.

Además es relevante resaltar que el sujeto de estudio se enfoca a los alumnos que cursen estudios de EMS, debido a que es una etapa donde por lo general pocos estudiantes reciben educación científica (Meinardi, 2010, p 16), incluso el papel de la BE en el plan curricular de la EMS no siempre es claro

Como la didáctica de BE se enfoca en alumnos de EMS es pertinente que se mencione cuál es el papel de esta disciplina en el plan curricular de la EMS.

1.5.1. La Biología evolutiva en la Educación Media Superior en México

La EMS en México tiene como objetivo brindar a los jóvenes de habilidades relacionadas con la innovación tecnológica para facilitar su ingreso al mercado laboral y prepararlos para vivir en sociedad (INNE, 2011, p.24). Al respecto de este enunciado en el **Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INNE)** comenta que:

Tanto el Banco Mundial (2005), como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2006), la UNESCO (2005) y la OCDE (2010) coinciden en que el principal objetivo de la educación media es que los jóvenes tengan la oportunidad de adquirir destrezas, aptitudes, conocimientos, además de la capacidad para seguir aprendiendo a lo largo de la vida, y ser ciudadanos activos, participativos y productivos [...] Hoy se necesita preparar a la juventud para los cambios, la incertidumbre, enfrentar dificultades, saber aprovechar oportunidades, ser flexibles y adaptables sin comprometer sus valores (INNE, 2011, p. 25).

Por estas razones la EMS es necesaria en la formación de los jóvenes mexicanos, en México la EMS presenta tres modalidades: Educación Profesional Técnica, Bachillerato General y Bachillerato Tecnológico, cada modalidad presenta sus propias características y finalidades, los estudiantes para ingresar en cualquier de éstas presentan un concurso de selección y a la modalidad educativa que se eligen en relación con sus intereses y posibilidades (COMIPEMS, 2014).

Cabe señalar que los planes de estudio de las diferentes instituciones de EMS, no son iguales y cada currículo se orienta a los objetivos que establezca cada institución. Al respecto Montes (2010) menciona que:

[...] las directrices políticas y ejes en los que se sustentan los programas a nivel nacional, están bien precisados en los programas nacionales, también es cierto que cada entidad académica, tiene la autoridad y cierta autonomía para rediseñarlos, considerando las actividades del entorno educativo en la que se aplicará. En este mismo sentido, cada materia, cada asignatura y cada actividad temática podrá cambiar de acuerdo con las anteriores apreciaciones (Montes, 2010, p.12).

Las instituciones de MES cuentan con diferentes objetivos, estructuras curriculares, y necesidades educativas, pero tienen en común la formación de ciudadanos justos y responsables (Vargas, 2010, p.5).

Es relevante que se pregunte ¿Cuál es el papel de la BE en la EMS?, al analizar la ubicación curricular de la BE, se puede deducir que los contenidos a enseñar y aprender que se emplean no son homogéneos; sólo se enseñan determinados modelos de ésta disciplina, cómo se puede percibir en el currículum sobre Biología de las instituciones de EMS de la zona metropolitana del Valle de México.

De las nueve instituciones de EMS en la zona metropolitana del Valle de México sólo en seis se desglosa y describe la ubicación y contenido de la materia de Biología dentro del plan de curricular **(ANEXO 1)**

En el plan de estudios del Colegio de Bachilleres, la Preparatoria Oficial y la Preparatoria de Texcoco se menciona en que semestre académico se imparte la materia de Biología pero no se desglosa los temas biológicos que se enseñan.

El plan de la **Escuela Nacional Preparatoria (ENP)**, del **Centro de bachillerato tecnológico industrial y servicios (CBTIS)** y del **Centro de estudios técnicos industriales y de servicios (CETIS)** se centra en el MEVSN para explicar la unidad de Biología evolutiva. Mientras que el **Centro de Estudio del Bachillerato (CEB)** se enfoca de manera breve al MES en el rubro donde se enfocan al análisis de la célula, no se detalla otro aspecto referente a otros modelos de BE.

Solamente el plan de estudios del CCH, dentro de la unidad donde se enseña Biología evolutiva mencionan conocimientos del MEVSN y del MES **(ANEXO 1)**.

La estructura curricular sobre Biología evolutiva no es homogénea, y de la familia de modelos que constituye a la Biología evolutiva (González-Galli, 2010,p. 227).sólo se enseñan determinados modelos evolutivos (como el lamarckiano o el darwiniano), y es frecuente que estos modelos no se relacionen durante el proceso de enseñanza, lo que podría complicar la enseñanza de la Biología evolutiva.

Cabe resaltar el momento cognitivo que atraviesan los estudiantes de EMS durante sus estudios, éste se identifica por la dificultad que presentan los jóvenes al aprender sobre conceptos abstractos, lo que complica el aprendizaje significativo de la Biología evolutiva, En

este sentido los alumnos presentan complicaciones para identificar los diferentes modelos que explican diferentes aspectos del proceso evolutivo, así como los factores que propician la diversidad y la formación de especies. (Montes, 2010, p.12).

Como una alternativa didáctica para el proceso de enseñanza y de aprendizaje de la BE se desarrolla una propuesta didáctica que relaciona el MES y el MEVSN. Esta propuesta se estructura a partir del análisis de estos dos modelos que son nuestros objetos de estudio. El análisis de estos modelos se presenta en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 2: BIOLOGÍA EVOLUTIVA

2.1 MODELO DE EVOLUCIÓN POR VARIACIÓN Y SELECCIÓN NATURAL (MEVSN)

La teoría de la evolución propuesta por Charles Robert Darwin (1809 – 1882), brinda las bases para entender el proceso adaptativo de las especies. El modelo darwiniano se reestructuró en la teoría sintética de la evolución a mediados del siglo XX. En este capítulo se explican las bases conceptuales que sustentan el modelo, y se describe el caso de la polilla *Biston betularia* que ejemplifica claramente el proceso de selección natural.

2.1.1 Gradualismo y ascendencia en común

El viaje de Beagle fue vital para la construcción del MEVSN, durante los casi cinco años que duró la expedición, él colectó especímenes de diferentes organismos, encontró importantes fósiles, se interesó por la Geología y se dedicó a observar la naturaleza, por lo anterior se formuló preguntas sobre el cómo y el porqué de los procesos naturales (Mayr, 1992, p.18). También revisó los dos primeros volúmenes de *Los principios de Geología* de Charles Lyell¹⁶, lecturas que le proporcionaron a Darwin información avanzada sobre Geología uniformista¹⁷ y el gradualismo (Bowler, 2010, p.56).

Durante el viaje además de identificar la importancia del tiempo, Darwin modificó su concepción sobre la inmutabilidad de las especies, él creía que cada unidad biológica constituía una entidad única separada de las otras por características básicas renuentes al cambio (Gallardo, 2011, p.37), pero las observaciones realizadas en regiones de Sudamérica, cambiaron su creencia en el fijismo¹⁸ (Mayr. 1992, p.19).

Las primeras hipótesis que Darwin realizó sobre el proceso evolutivo se refieren al carácter gradualista de la evolución y al proceso de diversificación de las especies a partir de ancestros comunes a través de diversas líneas de descendencia (Lessa, 2009, p.74).

¹⁶En las obras de Lyell (1830-1833) se explica que las formaciones geológicas son el resultado de cambios graduales que se extienden por largos periodos de tiempo, Darwin percibió la veracidad de este enunciado durante el viaje por que observó evidencias como los efectos de los terremotos en las montañas de los Andes; las cordilleras montañosas fueron elevadas poco a poco a lo largo de una prolongada serie de terremotos (Bowler, 2010, p.56).

¹⁷La Geología uniformista expone que los cambios de la superficie terrestre han ocurrido de manera gradual por periodos de tiempo prolongados.

¹⁸La creencia en el fijismo por parte de Darwin se conservó durante el viaje a las Galápagos, él abandono está corriente de pensamiento hasta que redactó "*Diario del viaje*" en 1837, cuando la confrontación entre la teoría creacionista y las observaciones del viaje demostraron el desajuste entre ambas (Ruiz y Ayala, 2002, p.45).

Las primeras evidencias del parentesco entre las especies se observa en la relación entre los fósiles y las especies actuales. A partir de estos estudios Darwin se planteó la posibilidad de que los organismos se encontraran relacionados (Noguera y Ruiz, 2010, p. 6). Fue el primero en argumentar que las especies divergen de un ancestro en común y que toda la vida se puede representar como un gran árbol filogenético (Futuyma, 1998. p.21). Entre las principales evidencias que respaldan esta concepción se encuentran:

- 1.- Los fósiles de animales con corazas parecidos a los armadillos actuales
- 2.- La sustitución paulatina de animales emparentados en el continente americano de norte a sur.
- 3.- Los organismos de las Islas Galápagos que diferían ligeramente en cada isla, a pesar de que éstas eran recientes desde un punto de vista geológico (Pelayo, 2001, p.53).

Se proporcionaron otras evidencias del análisis de restos fósiles de mamíferos (Esparza, 2009, p.6) y de las muestras de pinzones de las Galápagos que pertenecían a distintas especies según las identificaciones taxonómicas de John Stephen Gould (Bowler, 1995, p.97).

Las aves de las Galápagos son descendientes de una única especie ancestral sudamericana, por estas observaciones se infirió que el proceso de diversificación de las especies combinadas con su continua divergencia puede dar origen a diferentes taxones, el parentesco entre las especies se explicó suponiendo que éstas se modifican gradualmente¹⁹(Mayr, 1992, p. 35).

El concepto de gradualismo no se asocia con la tardanza de las transiciones o la variabilidad de las tasas de cambio, establece que al ir de un organismo *A* a un *B* sustancialmente distinto, se debe a travesar una larga secuencia de pasos intermedios que pueden ser imperceptibles. En otras palabras el ancestro y descendiente se encuentran conectados por una serie de cambios²⁰ (Gould, 2004, p. 176). Durante el cambio de los organismos se presentan formas intermedias, muchas de estas especies intermedias se desconocen porque durante el proceso de evolución se extinguieron y no se encuentran en el registro fósil (Futuyma, 1998, p. 21).

¹⁹ Antes de que se aceptara la sucesión de especies de forma gradual, se pensó que una especie podía dar lugar a una nueva por un impulso o saltación repentina, esta idea se apoyó en el descubrimiento de una segunda especie de ñandú aunque estos orígenes repentinos no encajaban con el proceso de evolución, la concepción cambió cuando se analizaron los resultados de la identificación de aves realizada por John Gould y se mostró que esta idea era errónea (Mayr, 1992, p.31).

²⁰ Estos cambios se encuentran dentro del rango de lo que la selección natural puede construir a partir de la variación (Cf. Gould, 2004, p.176).

El papel fundamental de la ascendencia común y el gradualismo es claro, aunque no siempre se refleja en el registro fósil debido a que es una secuencia incompleta y no muestra por sí solo el gradualismo dentro del proceso evolutivo, este suele ser un punto a favor de los oponentes del modelo darwiniano, pero se ha identificado que es posible comparar organismos antiguos y actuales de forma que se observe la relación ancestro-descendiente, incluso se puede determinar la antigüedad de los fósiles y las diferencias cronológicas entre una y otra por las columnas estratigráficas (Guzmán, 2013, p.15).

La relación entre la ascendencia en común y el gradualismo es vital para que se entienda como las especies están ligadas filogenéticamente y que las modificaciones de estas se conservan a través del tiempo, pero es necesario que se analice de fondo estas modificaciones, o mejor dicho variaciones.

2 1.2 El concepto de variación en el pensamiento darwinista

El núcleo del modelo darwiniano se encuentra en la conexión histórica entre la variación y la selección natural, la importancia de la variación se percibe desde las observaciones que realizó Darwin en las Galápagos y son imprescindibles para el proceso evolutivo.

Darwin resaltó la importancia de las poblaciones en la evolución de las especies. En tanto las poblaciones están formadas por individuos de la misma especie y que son diferentes entre sí, únicos e irrepetibles, y dado que también el ambiente de cada población tiene pequeñas o grandes variaciones, al actuar en las poblaciones los procesos evolutivos, las especies ancestrales dan origen a nuevas especies. En el esquema darwiniano, la acumulación y la herencia de las variaciones a través de tiempo es de suma importancia, se reconoce que los nuevos individuos no son copias fieles de sus progenitores y se deduce que en el proceso reproductivo existe algo²¹ que genera una variabilidad prácticamente infinita que proporciona a cada individuo su particularidad (Hernández, 2011, p.16).

Se han identificado las características de las variaciones para el modelo darwiniano. Las características que Darwin estableció son, en esencia, condiciones *sine qua non* para que la selección natural pueda ejercer su influencia (Hernández, 2011, p. 26).

²¹ Cuando Darwin postuló la teoría evolutiva se desconocían los procesos que originaban la variación, posteriormente se identificó que surgían por procesos de recombinación genéticas, mutaciones, transferencia de genes, entre otros. Para más información se recomienda revisar la tesis "*Tipos y causas de la variación biológica: un análisis conceptual*" de Víctor Hernández Marroquín (2010).

En primer lugar la variación no se circunscribe a ningún límite. En las poblaciones de individuos únicos, los supuestos límites entre las especies dejan de pertenecer al mundo real y no hay restricción para que la variación se acumule más allá de ellos²² (Hernández, 2011, p.26).

En segundo lugar, la variación se presenta de forma continua y gradual. Bajo el principio gradualista darwiniano se afirma que los procesos evolutivos²³ se dan a pequeña escala (Hernández, 2011, p.26).

Por último las variaciones se generan sin dirección alguna, es decir, se presentan sin objetivo alguno, se reconoce que de existir solamente la variación dirigida la selección natural mantendría un papel nulo en el proceso evolutivo. (Hernández, 2011, p.26).

Las variaciones se originan sin tener ninguna relación directa con la adaptación, esta desconexión causal entre el origen de la variación y su papel en el proceso evolutivo se denominó variación al azar²⁴ (Hernández, Alvarez y Ruiz, 2009, p. 110).

La variación se encuentra íntimamente relacionada con el proceso de adaptación, se explica por Stephen Jay Gould (2004) de la siguiente manera:

Las tres restricciones de Darwin sobre la naturaleza de la variación forman una sola unidad conceptual: la variación no es más que un prerequisite, una fuente de materia prima incapaz de impartir dirección o generar cambio evolutivo por sí misma. El gradualismo, en el segundo sentido de intermediación imperceptible, garantiza que la fuerza positiva de modificación proceda por pasos minúsculos. Por lo tanto, la explicación de la evolución debe consistir en especificar las causas del cambio una vez conocida la naturaleza general del mismo (el gradualismo) y eliminada cualquier fuente de cambio intrínseca a la variación misma (la isotropía). El cambio debe surgir por lo tanto de la interacción entre las influencias (bióticas y abióticas) del entorno y la materia prima equipotencial suministrada por la variación, y el resultado primario del ajuste gradual entre uno y otra debe ser la adaptación (Gould, 2004, p.182).

²²El hecho de que la variación se acumule más allá de la población, no quiere decir, que se retenga sin ninguna barrera o restricción, más bien hace referencia al hecho de que la variación que es objeto de selección natural puede dar origen a adaptaciones que se pueden heredar y con el tiempo, generar procesos de especiación donde se pueden desarrollar nuevas especies y por ende poblaciones. De este modo la variación y la selección natural pueden desarrollar nuevas poblaciones de especies y la variación que resulta inicial que tuvo carácter adaptativo paso de una población a otra.

²³Estos procesos evolutivos se refieren particularmente a la adaptación que es el fenómeno que explica el MEVSN.

²⁴Si se entiende el azar como desconexión causal, es importante precisar que lo azaroso no es el surgimiento de la variación, en tanto existen agentes mutagénicos y otras causas; tampoco es azaroso que una variación resulte adaptativa si le confiere ventaja al organismo que lo porta para sobrevivir y reproducirse. Lo que resulta azaroso es que una variación surja en un espacio, tiempo y ambiente en el que resulte adaptativa (Hernández, *et al.*, 2009, p. 110).

La adaptación²⁵ es un proceso que se explica a partir de la variación biológica preexistente en una población, las características favorables promueven que determinados organismos sobrevivan y obtengan mayor éxito reproductivo (Guzmán, 2013, p. 127). Este es un tema en el que se profundizará más adelante.

Darwin reconoció la importancia de la variación pero no podía explicar cómo las variaciones se heredaban de generación en generación, ni cómo surgían, atribuyó al ambiente un papel preponderante en el origen de la variación y postuló la hipótesis provisional de la pangénesis²⁶.

De manera independiente a esta hipótesis Darwin identificó aspectos relevantes sobre la variación, observó que en el cambio morfológico de los organismos domésticos se encontraba implicada la selección de determinadas variaciones por parte de los criadores, de manera que las especies domesticadas presentaran características aprovechables para la ganadería por ejemplo. Éste principio de selección utilizado por los criadores, se conoce como selección artificial (Pelayo, 2001, p.80). El proceso de selección natural se desarrolló a partir de la analogía con la selección que ejercían los criadores en animales (Ruiz y Ayala, 2002, p. 58). Pero se desconocía como actuaba esta selección en un ambiente natural.

El punto que permitió a Darwin entender el proceso de selección en la naturaleza fue la lectura del *Ensayo sobre el principio de la población* (1798) de Thomas Malthus, que describe que los humanos tienden, de manera natural, a producir más hijos de los que se pueden sustentar, entonces la presión de la sobrepoblación conduce a una *lucha por la existencia* cuyo resultado determinará quién vivirá y quien no, está es la base conceptual de la selección natural (Bowler, 2010, p 6).

El escrito de Malthus muestra que el crecimiento de las poblaciones se da de manera geométrica mientras que los recursos crecen de manera aritmética, entonces la supervivencia de los individuos se media por los recursos disponibles y la capacidad de los individuos en la lucha constante por la existencia (Guzmán, 2013, p. 73). Este concepto se explica claramente en el pensamiento darwiniano:

²⁵Es importante resaltar que variación y adaptación no son sinónimos y responden a dos explicaciones diferentes. El término variación se refiere a la diferencia entre moléculas, genes, organismos e incluso ecosistemas (Guzmán, 2013, p. 142), mientras la adaptación es el resultado de la acumulación de características favorables a través del tiempo, dichas características le confieren al organismo que las portacierta ventaja para sobrevivir durante un tiempo y un espacio determinados.

²⁶La pangénesis expone que las diferentes partes del cuerpo producen gémulas que se distribuyen por los canales intracelulares y se dirigen a los elementos sexuales, se pensaba que estos elementos podían producir un organismo completo por las gémulas que contenían, posteriormente se demostró que esta hipótesis era equivocada. Para más información se recomienda revisar el artículo "*Pangénesis y vitalismo científico*" de Ricardo Noguera Solano y Rosaura Ruiz Gutiérrez.

De la alta proporción en que tienden a aumentar todos los seres orgánicos, se desprende de manera inevitable la lucha por la existencia. Cada ser que, durante su tiempo natural de vida, produce varios huevos o semillas debe estar sometido a la destrucción en algún periodo de su vida y en alguna estación o año ocasional porque de otro modo, por el principio de su aumento en progresión geométrica, su número se volvería enseguida tan desmesuradamente grande que ningún país podría sostenerlo. De ahí que, como son producidos más ejemplares de los que tienen posibilidades de sobrevivir, tiene que existir en cada caso una lucha por la existencia, ya sea de un individuo con otro de la misma especie, o con individuos de especies distintas, o con las condiciones de vida (Darwin, 2001, p. 67-68).

En la naturaleza los individuos llevan una lucha por los recursos como el alimento o el espacio y sólo sobreviven los organismos con variaciones favorables en el tiempo y espacio en que habitan y tienden a la conservación (Pelayo, 2001, p. 56). La lucha entre las especies se presenta en todos los niveles de organización de la vida y determina en gran medida el éxito reproductivo diferencial de las especies (Gould, 2004, p.38).

Como resultado de esta lucha se reconoce que las variaciones que son beneficiosas de algún modo a los individuos se preservan y generalmente se heredan a la descendencia, así estos tienen mayores posibilidades de sobrevivir, este principio se nombró selección natural. (Darwin, 2001 p. 65).

2.1.3 Selección natural y teoría sintética de la evolución

La selección natural se refiere a la teoría original de Darwin, independientemente concebida también por Wallace sobre el proceso de cambio de los organismos donde las variaciones y la lucha por la vida contribuyen al florecimiento o extinción de especies (Futuyma, 1999, p.22). El proceso se define como el principio por el cual toda variación favorable, por ligera que sea, se conserva, es un esquema explicativo que da cuenta de las adaptaciones de las especies que se generan en virtud de la preservación de variaciones benéficas durante la lucha por la existencia. (Lewens, 2010, p.830).

También se define como el “éxito reproductivo diferencial no aleatorio”²⁷ según Mayr, los organismos mejor adaptados tendrán mejores posibilidades de sobrevivir y reproducirse, mientras los no aptos tenderán a la eliminación, como consecuencia existe la reproducción diferencial de las variedades más divergentes, (Mayr, 2006, p.172.).

El éxito reproductivo diferencial se refiere al hecho de que sólo unos pocos de todos los descendientes sobreviven el tiempo suficiente para reproducirse; hay muchas causas posibles por las que unos pocos supervivientes pueden tener éxito, parte de la supervivencia puede ser por procesos estocásticos es decir, variables aleatorias. La mayoría, sin embargo, se debe al mejor funcionamiento de la fisiología del organismo superviviente, que le permite superar las vicisitudes ambientales mejor que otros miembros de la población. Entonces lo que determina el éxito de un individuo es precisamente la capacidad del cuerpo del organismo para enfrentarse a los desafíos del ambiente (Mayr, 1992, p. 99).

En este sentido, las variaciones en algún grado provechosas tienden a la conservación de los individuos y generalmente se heredan a la progenie que tendrá mayor probabilidad de sobrevivir (Darwin, 2001, p.82).

La selección natural enlaza los conceptos de variación y adaptación; las variaciones benéficas en un ambiente determinado pueden devenir en adaptaciones que podrán ser seleccionadas y heredadas; con las variaciones perjudiciales es muy probable que el organismo perezca y no logre heredar sus características, en cuanto a las variantes neutrales se podrán transmitir a la siguiente generación siempre que el organismo procrea (Guzmán, 2013, p. 50).

Darwin se apoyó en las analogías con la selección artificial para explicar el funcionamiento de la selección natural, infirió que igual que el humano podía inducir cambios en los organismos domésticos por la acumulación de diferencias individuales podía funcionar la selección en la naturaleza (Pelayo, 2001, p. 86).

En los ambientes naturales la selección natural actúa en los organismos que compiten en la lucha por la supervivencia, si los organismos cuentan con variaciones benéficas que sean heredables tendrán ventajas sobre otros organismos y mientras las condiciones ambientales no cambien estas variaciones le servirán para sobrevivir, defenderse y reproducirse (Pelayo, 2001, p. 87).

²⁷ Este concepto se encuentra definido en el marco de la teoría darwiniana de la evolución, explica el proceso de selección natural que sigue siendo en esencia el mismo que se postuló en *El origen de las especies*.

Aunque se emplea esta analogía existen diferencias notorias entre ambos procesos, la selección que realizan los humanos es direccional, se basa en los intereses humanos con finalidad definida, en cambio el proceso de selección natural no tiene objetivos definidos²⁸ (Ruiz y Ayala, 2002, p.58).

La teoría de evolución por selección natural se presentó al mundo el 1 de julio de 1858, en la Sociedad Linneana de Londres, y el 24 de noviembre de 1859, Darwin presentó su obra prima *El origen de la especies* (Mayr, 1992, p.30).

Según Gallardo (2011) en *El Origen de las especies* se plasmaron los principales postulados del modelo de evolución por variación y selección natural, que son los siguientes:

- 1.- Para que actúe la selección natural, las características de los organismos, deben presentar variación y ser heredables. Sin selección, las características favorables son eliminadas (o mantenidas) en las poblaciones por puro azar.
- 2.- Todos los organismos tienen una capacidad reproductiva excesiva
- 3.- El ambiente es finito y azaroso y, por lo tanto, hay una suerte de “lucha por la existencia” entre los organismos.
- 4.- Como consecuencia de las diferencias individuales, los individuos más aptos dejan más descendencia (Gallardo, 2011, p.38).

El poder explicativo de este modelo modificó los estudios sobre la vida: su origen, transformación, historia y diversidad, cambiaron completamente (Noguera y Ruiz, 2010, p. 26).

A pesar de haber tenido un éxito estruendoso²⁹, la aceptación de la teoría de Darwin por parte de todos los sectores de la sociedad como paradigma científico hegemónico no fue un proceso inmediato³⁰ (Abdalla, 2009, p.4).

²⁸ En la naturaleza no existe un propósito, pero es importante resaltar que la selección natural tiene dirección en tanto que este proceso se centra en favorecer rasgos que les confiere ventajas a los individuos con respecto a otros miembros de la población que no los tienen. De esta manera la selección natural tiene dirección pero no intención.

²⁹ Abdalla (2009) con respecto al éxito del pensamiento darwiniano, expone que Darwin paulatinamente modificó la idea que se tenía sobre la inmutabilidad de las especies a mediados del siglo XVIII. Explica que esta teoría fue aceptada por varios sectores de la población porque contaba con evidencias comprobables pero principalmente porque el mecanismo de la teoría de la evolución ya existía en las teorías sociales de Malthus y Spencer y había una predisposición social para este tipo de modelo que de alguna manera reproduce la forma de pensar de la época (Abdalla, 2009, p.4).

³⁰ Se reconoce que la oposición a la selección natural era muy fuerte, incluso 80 años después de la publicación la teoría darwiniana a excepción de pocos naturalista, apenas existía un biólogo y con seguridad ningún biólogo experimental que admitiera a la selección natural como la única causa de la adaptación. (Abdalla, 2009, p.4).

Una dificultad seria a la que se enfrentó en su origen esta teoría, fue la falta de un modelo adecuado sobre la herencia que pudiera explicar la preservación de las especies a través de la producción de variaciones sobre las que se supone actúa la selección natural. El problema de la herencia se resolvió hasta 1900 cuando de forma simultánea Hugo de Vries, Carl Correns y Erich Tchetmark publicaron investigaciones donde se confirman los resultados obtenidos por Gregor Mendel quien 35 años antes estableció que la herencia se transmite en unidades discretas que son disociables y matemáticamente predecibles, demostró que los caracteres parentales no se mezclan y se transmiten sin cambio a las generaciones siguientes (Ruiz y Ayala, 2002, p.106).

Gregorio Mendel dio cuenta de la herencia biológica a través de elementos particulados (genes) heredados de cada progenitor, que no se mezclan, sino se segregan en la formación de las células sexuales o gametos y que se pueden combinar independientemente con los otros elementos (genes)³¹(Ruiz y Ayala, 2002, p.107).

Se podría pensar que el redescubrimiento de las investigaciones de Mendel produjo un cambio inmediato en cuanto a la recepción de la selección natural, pero no fue el caso. Los avances en campos como la genética y la biología molecular pusieron de relieve que el material genético es de carácter particulado y que la herencia es dura³², aun así los más destacados mendelianos no aceptaron la selección natural y el cambio evolutivo se atribuyó a la presión de la mutación³³ (Mayr, 1992, p.143).

En consecuencia, en las primeras décadas del siglo XX el campo de la Biología evolutiva se encontraba dividido; todavía existían naturalistas que se adherían al concepto de la herencia de caracteres adquiridos de Lamarck y el redescubrimiento de las leyes de Mendel generó un movimiento según el cual la mutación y no la selección guiaban el proceso evolutivo (Lessa, 2009, p.77).

³¹ Mendel llegó a esta conclusión a partir de sus observaciones en plantas de chícharos, se percató que en éstas había dos elementos alternativos que determinaban cada carácter (el carácter se refiere al fenotipo de la semilla por ejemplo si era lisa o rugosa) (Ruiz y Ayala, 2002, p.107). El proceso de la herencia de Mendel se resume en forma de leyes.
Ley I. Segregación independiente: Existen dos factores alternativos de cada carácter, que los descendientes reciben de cada progenitor, cuál de los dos factores parentales reciba cada descendiente depende del azar.
Ley II. Combinación independiente: Cada par de factores es heredado independiente de cualquier otro par, de manera que los factores de caracteres diferentes se recombinan unos con otros al azar
Ley III. Dominancia y recesividad: Un híbrido presenta el carácter asociado con sólo uno de los dos factores de cada par, el cual se llama *dominante*, y el que no se expresa se llama *recesivo*. No siempre se añade este postulado como una ley (Ruiz y Ayala, 2002, p. 108).

³² Se refiere a que no es posible ningún tipo de herencia de caracteres adquiridos.

³³ La mutación se define como el cambio en el genotipo, si el cambio se produce en el ADN de una célula somática puede provocar un cambio en el fenotipo del organismo pero no afectara a la descendencia del organismo; sólo las mutaciones en los gametos pueden producir cambios heredables en la descendencia, se pensaba por los mendelianos que la mutación era el proceso por el cual se formaban las nuevas especies (Mayr, 1992, p. 183).

Se conoce que el mutacionismo fue rechazado por muchos naturalistas, particularmente por los biometristas³⁴, sin embargo los avances teóricos y experimentales de la genética mostraron que no hay contradicción entre las evidencias sobre el origen de la variación genética y la selección natural; la solución de esta controversia se exhibió entre las décadas de 1920 y 1930 al demostrar que las ideas de Darwin y Mendel son complementarias, con esta síntesis se recuperó el reconocimiento del darwinismo como un modelo vigente dentro del proceso evolutivo y se elaboró una estructura teórica que integró la genética con la selección natural (Ruiz y Ayala, 2002, p. 111). Se ubican como los principales arquitectos de TSE a Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr, Julian Huxley, George G. Simpson, George L. Stebbins (Ruiz y Ayala, 2002, p. 125).

Para la TSE, la mutación se origina por cambios aleatorios en el código genético, es decir, a nivel molecular y refuerza los postulados darwinistas. En este marco las mutaciones son graduales, no surgen súbitamente, ni a través de saltos, y son azarosas porque se encuentran desconectadas de las necesidades de los organismos (Abdalla, 2006. p, 5).

Lessa (2009) describe que en la actualidad los componentes principales de la teoría sintética son los siguientes:

- 1.- Herencia mendeliana: La incorporación de la genética permitió que se rechazara definitivamente el lamarckismo y que se comprendieran los mecanismos de la herencia
- 2.- Carácter aleatorio de la población: Se determinó que las mutaciones por si solas no representan respuestas adaptativas a desafíos ambientales, si no que surgen por diversas causas que se pueden estudiar perfectamente, pero su surgimiento es aleatorio con respecto a su valor adaptativo.
- 3.- Formulación matemática de algunos procesos evolutivos fundamentales: Fisher, Wright y Haldane se identifican como pioneros en expresar la teoría del cambio evolutivo en términos de variaciones en las frecuencias alélicas de las poblaciones, se explica por los modelos matemáticos el destino de los alelos en la población, se incorpora el origen mutacional y los cambios en las frecuencias alélicas resultado de procesos como la selección natural y la migración.

³⁴Se conocen como biometristas a los defensores de la selección natural como el motor principal del proceso evolutivo mediante los efectos acumulativos de variaciones individuales. En cambio los mutacionistas defendían que las variaciones discontinuas provocadas por grandes mutaciones pueden dar origen a nuevas especies de forma saltacional. En el modelo mutacionista que propuso Hugo de Vries la selección natural no es un fuerza creadora y sólo puede actuar eliminando individuos o especies con modificaciones negativas (Ruiz y Ayala, 2002, p. 109-110).

4.- Concepto biológico de especie y proceso de especiación: Dobszhansky y Mayr aplicaron los modelos que se propusieron de genética de poblaciones a la diversidad biológica, expusieron una definición de especie biológica como una unidad esencial de la diversidad en especies de reproducción sexual, explicaron los procesos de formación de especies (especiación) y los mecanismos que las mantienen como unidades discretas (mecanismos de aislamiento reproductivo).

5.- El registro fósil: George Simpson se enfocó a consolidar la noción de que el registro fósil permitía desechar la visión de progreso lineal impulsada por el vitalismo y posibilita adoptar la percepción darwinista de evolución lenta, gradual y posiblemente guiada por la selección natural a lo largo de diversas ramas del árbol de la vida (Lessa, 2009, p. 77-78).

La nueva síntesis evolutiva se aceptó como un modelo que posibilita la comprensión de la variedad de especies, la razón de sus semejanzas, las causas de la diferenciación y el surgimiento de nuevas especies descendientes de especies diferentes sean actuales o extintas. Se reconoce que a partir de los escritos de Darwin y su aceptación como paradigma a través de la síntesis moderna prácticamente todas las ciencias relacionadas con la vida se orientaron por una concepción evolucionista darwiniana (Abdalla, 2006, p.6).

Se resolvieron con esta síntesis los problemas asociados a las fuentes de variación biológica; la recombinación genética y la mutación se establecieron como los principales generadores de variaciones que pueden ser objeto de la selección natural dentro de las poblaciones.

Un caso que está ampliamente documentado de evolución en acción es el de la polilla *Biston betularia*, que ejemplifica el proceso de selección natural.

2.1.4 Efecto de la selección natural: *Biston betularia*

Se puede apreciar el efecto de la selección natural en el caso de las poblaciones de polillas de la especie *Biston betularia*³⁵, es un ejemplo irrefutable y contundente de la forma en que actúa la selección.

³⁵ *Biston betularia*, es una especie de Lepidóptero que presenta dos formas distintas; una típica que es blanca con punteado negro y la otra es carbonaria, que es casi negra (Majerus, 1999, p. 641). También existe una forma intermedia conocida como insularia.

En Gran Bretaña en el año de 1848 se localizaban fácilmente amplias poblaciones de polillas de la especie *Biston betularia*. En 1895 descendieron las poblaciones de polillas blancas pero las que portaban colores oscuros aumentaron su número. (Majerus, 2009, p.64).

La principal causa selectiva del incremento del melanismo (las polillas oscuras) en *B. betularia*, propuesta por primera vez por James William Tutt (1858 - 1911) y confirmada por los experimentos clásicos de Henry Bernard Davis Kettlewell (1907 - 1979) sobre la depredación diferencial por las aves (Majerus, 1999, p.637).

Tutt explicó que, posteriormente a la revolución industrial el ambiente inglés sufrió cambios por efecto de la contaminación como la pérdida de líquenes y el oscurecimiento de la corteza de los árboles, estos cambios resultaron ser benéficos para las polillas oscuras que fueron menos depredadas por las aves, porque se podían mimetizar de una manera más eficiente que las polillas de color claro. La hipótesis se comprobó, con los experimentos de Kettlewell y E.B. Ford, analizaron las poblaciones de polillas en un ambiente natural a través del marcaje y la recaptura, comprobaron que existía una cantidad mayor de polillas oscuras en comparación con las blancas y se dedujo que la coloración oscura constituía una ventaja selectiva en los árboles con cobertura contaminada (Majerus, 2009, p.64).

Los datos que se obtienen muestran la relación entre las frecuencias poblacionales y las regiones industriales y respaldan la hipótesis de la depredación diferencial de las aves que disminuyeron el número de individuos de la población con coloraciones claras. Las frecuencias poblacionales de ambos grupos de polillas se mantuvieron constantes hasta 1960, cuando se aprobó la legislación ambiental con el fin de reducir los niveles de contaminación, esta modificación repercutió en el ambiente, ya que finales de los años sesenta se reportó una baja en las poblaciones de polillas oscuras y un aumento en las de color claro. Al reducir los índices de contaminación, la flora de la región, en particular los árboles recobraron su coloración habitual, entonces las características de la polilla blanca le proporcionaron una ventaja selectiva en relación a la variedad oscura (Majerus, 2009, p 65).

Este caso proporciona un excelente ejemplo de evolución en acción según Majerus (1999) porque:

- 1.- Los cambios en la población de polillas fueron rápidos y visualmente dramáticos, la cantidad de polilla blanca disminuyó y la cantidad de polillas con coloración negra en las poblaciones aumento en un periodo de sólo cincuenta años.

2.- El cambio estaba asociado a un factor ambiental específico; el oscurecimiento de la corteza de los árboles debido a la contaminación atmosférica

3.- Un factor selectivo como la depredación de las aves es fácil de entender.

4.- La rapidez del aumento de la forma oscura indicó diferencias selectivas de gran magnitud (Majerus, 1999, p.639).

En este ejemplo se puede apreciar cómo las variaciones son adaptativas siempre que le proporcionen una ventaja al organismo para sobrevivir y tener un mayor éxito reproductivo, si las variaciones son benéficas para el organismo, por selección natural, aumentarán su frecuencia en las poblaciones. También el azar presenta un papel preponderante en el surgimiento de características que en determinado espacio y tiempo resultan ventajosas para el organismo.

El caso de las polillas muestra cómo la lucha por la supervivencia se presenta entre las polillas de la misma especie, en términos de la ventaja que le confiere en un medio determinado el color de un organismo sobre otro. La red que se establece entre la variación y la selección natural presenta un efecto directo en el éxito reproductivo de las especies y en su conservación a través del tiempo. Este es un caso paradigmático de cómo evolucionan las especies por selección natural (Majerus, 2009, p.65).

A lo largo de este primer capítulo se sentaron las bases del MEVSN, que permite comprender la manera en que sucede el proceso adaptativo, y es una fuerza importante aunque no la única por la que surgen nuevas especies.

En el próximo capítulo se analiza un modelo evolutivo que explica el surgimiento de la variación biológica y el origen de la célula eucariota por procesos de simbiosis y simbiogénesis, posteriormente se expondrá su importancia para la biología evolutiva.

2.2 MODELO DE ENDOSIMBIOSIS SERIADA (MES)

El modelo de endosimbiosis seriada lo propuso la científica Lynn Margulis. Actualmente esta teoría es aceptada por la mayor parte de la comunidad científica, aun así, es un modelo controvertido por las implicaciones que presenta para las especies dentro del proceso evolutivo, particularmente al explicar cómo se genera la variación biológica (Sampedro, 2002; Ryan, 2006; Abdalla, 2009 y Chávez, 2012).

En este capítulo, se explican las ideas principales de las primeras investigaciones relacionadas con el proceso de simbiogénesis, para posteriormente analizar a profundidad el papel que desempeña como fuente de variación, así como el marco teórico que explica el desarrollo de la célula nucleada a través de endosimbiosis que conllevó procesos de simbiogénesis. En este modelo los factores ambientales juegan un papel determinante, se realizará una descripción breve de las condiciones de la tierra primitiva para explicar cómo se generaron las principales estructuras celulares de eucariontes así como la importancia de éstas en el proceso evolutivo.

2.2.1 Simbiosis y simbiogénesis

La simbiosis es una interacción biológica imprescindible para los seres vivos que se define de la siguiente manera:

Asociación fisiológica prolongada entre dos o más organismos (distintamente denominados) generalmente de dos o más especies diferentes. Los niveles de integración asociativa en la simbiosis pueden presentar diversos grados de intimidad. La integración puede ser por metabolismo, por productos genéticos o genética. Los miembros de una misma simbiosis son simbiosiontes entre sí” (Margulis y Sagan, 2003, p. 279).

El estudio de simbiosis permite entender al humano la relación entre los organismos y el ambiente, pero sobre todo, estos procesos son fundamentales para que las especies que establecen simbiosis (llamados simbiosiontes) sobrevivan y se desarrollen. Se han documentado infinidad de ejemplos sobre relaciones simbióticas, se conoce que los bosques sólo prosperan cuando habitan hongos en las raíces de los árboles, o que los corales sólo sobreviven cuando poseen zooxantellas que llevan a cabo procesos fotosintéticos; incluso los seres humanos requieren de los microorganismos simbiosiontes intestinales para realizar los procesos digestivos. Por estos casos se puede inferir que las simbiosis se presentan y extienden a través de todos los reinos (Pennisi, 2003, p.774).

La simbiosis se puede clasificar de dos maneras. La primera es de acuerdo con la ubicación de los simbioses en el organismo, es decir, si un simbiote se encuentra dentro del cuerpo del otro se denomina endosimbiosis y si se encuentra afuera se nombra exosimbiosis (Moya, Peretó, Gil y Latorre, 2008, p.218). La segunda de acuerdo con el efecto que la asociación ejerza sobre los simbioses, se puede encontrar en la naturaleza relaciones parasitarias, comensalistas o mutualistas³⁶ (Moya *et al.*, 2008, p.218).

El principal mecanismo evolutivo que se propone en la teoría de Margulis son las simbiosis en serie, es decir, la adquisición de simbioses en un orden concreto, donde la mayoría de las asociaciones son permanentes, se describe que dos o más tipos de simbioses coevolucionan y gradualmente se pueden integrar en una única unidad, que es capaz de adquirir otros simbioses con el tiempo. En esta teoría se postula que los undulipodios, las mitocondrias y los plástidos se originaron a partir de bacterias simbioses (Margulis, 1996, p.160).

Cuando el proceso de simbiosis se establece entre dos organismos; por lo general el individuo que se encarga de proporcionar el alimento pierde la vida, y la asociación comienza con un carácter parasitario o explotador (Margulis y Sagan, 2003, p.37). Este proceso se puede explicar de la siguiente manera:

[...] Las simbiosis son asociaciones de largo recorrido. Organismos de tipología distinta se unen y dan pie a un tercer organismo. Esta fusión no es aleatoria; las relaciones simbióticas ocurren bajo condiciones del medio específicas. En algunas de estas ocasiones, una de las partes alimenta a la otra incluso a costa de su propio detrimento o de su muerte. Esta clase de asociaciones explotadoras se conocen como parasitarias o patogénicas. Tienden a ser extremadamente sensibles al estrés medioambiental. El parásito que invariablemente y de forma virulenta mata a su anfitrión se mata a sí mismo. Con el tiempo y las circunstancias, la naturaleza de las asociaciones tiende a cambiar [...] (Margulis y Sagan, 2003, p. 37).

En el modelo endosimbiótico se presta un fuerte interés a las relaciones de coexistencia modulada entre predadores, patógenos y anfitriones, se infiere que en éstas simbiosis con el tiempo, los miembros de dos especies distintas responden a la presencia del otro, entonces las

³⁶ Las relaciones simbióticas mencionadas se explican de la siguiente forma:
Parasitismo: Simbiosis en la que una especie aumenta su *aptitud** mientras que el estado físico de la otra(s) especie(s) se ve afectado negativamente.
Comensalismo: Simbiosis en la que una especie aumenta su *aptitud* sin afectar a la otra(s) especie(s).
Mutualismo: Simbiosis en que ambas especies incrementan su *aptitud* (Moya *et al.*, 2009, p.220).
El autor emplea el término *fitness** que se traduce como aptitud, adecuación o eficacia biológica.

relaciones, particularmente las explotadoras, pueden transformarse en convivencia, hasta el punto en que ninguno de los dos organismos pueda vivir ya sin el otro (Margulis y Sagan, 2002, p.37).

Es necesario resaltar que las simbiosis por sí solas no son motores del proceso evolutivo, son asociaciones fisiológicas relacionadas con determinados factores ambientales, pero si se establecen a largo plazo pueden desembocar en procesos de simbiogénesis (Margulis y Sagan, 2003, p.37).

Se define a la simbiogénesis como la simbiosis que se forma a largo plazo y que contribuyen al cambio evolutivo, incluso se reconocen como verdaderas fusiones biológicas (Margulis y Sagan, 2003, p.37) en este proceso es vital el intercambio genético y la herencia de conjuntos de genes que se adquieren a partir de las simbiosis (Margulis, 2002, p. 19).

En este sentido el intercambio genético por medio de la transferencia horizontal de genes es indispensable para la simbiogénesis, se entiende por transferencia horizontal a la transmisión recíproca o no de información genética entre dos individuos con cualquier grado de parentesco evolutivo, implica que el genoma de un organismo acepta fragmentos del genoma de otro y lo incorpora en su sistema de replicación y traducción, esta es una fuerza evolutiva importante, particularmente para los procariontes³⁷ (Hernández, 2010, p.69).

La transferencia horizontal de genes explica la manera en que se heredan los simbioses, se reconoce que fue un proceso primordial en la evolución temprana de la vida en la tierra, en especial para la formación de la mitocondria y cloroplastos de los eucariontes modernos que son resultado de este modelo evolutivo (Roeland, Moya y Latorre, 2004, p. 94).

Hernández (2011) señala que en la teoría endosimbiótica los autores pasan por alto mencionar los procesos citomoleculares de fusión, asimilación o adquisición genómicas que ocurren durante la simbiogénesis. Aunque su amplio recuento de organismos involucrados en fenómenos simbióticos profundos le dan mucho peso al modelo, se advierte la falta de mención alguna a los detalles finos al origen de estas asociaciones (Hernández, 2011, p. 154-155).

Los estudios genómicos de la simbiosis y simbiogénesis son sumamente complicados, se ha intentado analizar la simbiosis entre organismos eucariontes y procariontes, pero estas

³⁷ Los procariontes llevan a cabo la transferencia horizontal de genes por 3 vías; la conjugación, la transformación o la transducción. La simbiogénesis involucra la transmisión de los genes de los simbioses por cualquiera de estas vías (Hernández, 2011, p. 70-71).

relaciones son tan estrechas que es difícil realizar cultivos de los microorganismos para su estudio. Gracias a los avances en metagenómica se han secuenciado genomas de microorganismos simbiotes lo que permite realizar comparaciones de las innovaciones evolutivas entre las bacterias de vida libre y las que son simbiotes (Moya *et al.*, 2008, p.218).

Los estudios genéticos³⁸ son importantes para; esclarecer las rutas genéticas y metabólicas que permiten el intercambio genético entre simbiotes, explicar por qué se reduce el genoma en los simbiotes, que tipo de genes retiene el simbiote, cuáles son las rutas moleculares usadas por el hospedador para regular al endosimbiote o determinar qué factores intervienen para que las simbiosis sean de tipo mutualista o parasitaria. (Moya *et al.*, 2008, p.220). De manera general se describe que durante el establecimiento de la endosimbiosis, el genoma de los endosimbiotes se vuelve más pequeño porque hay pérdida de genes (Moya *et al.*, 2008, p.220). Actualmente los factores genómicos de estas relaciones son un punto de investigación.

El análisis de las transiciones evolutivas de organismos patógenos a simbiotes donde se involucra la transferencia de genes, permite esclarecer aspectos sobre el origen de los eucariontes por simbiosis (Ochman y Moran, 2001, p. 1098).

Aunque la transferencia de genes por lo general se asocia con procesos de organismos procariontes, se reconoce que en el origen de los eucariontes se encuentra implicado este tipo de transferencia. En este sentido los alcances de la transferencia de genes por simbiogénesis se perciben en el origen de ciertas estructuras celulares y se ha sugerido que este fenómeno ocurrió más de una vez en la historia temprana de los eucariontes, existe evidencia de múltiples eventos de endosimbiosis, como los plásmidos que cuentan con tres orígenes distintos (Hernández, 2010, p.72).

La recombinación bacteriana de genes es importante porque mantiene juntas las funciones simbióticas entre organismos distintos, y en los primeros años de vida de la tierra fue un proceso crucial porque permitía que se respondiera con rapidez a los cambios ambientales (Margulis y Sagan, 2001 p.101).

Los conceptos de simbiosis y simbiogénesis se encuentran ampliamente ligados, si no se establecieran las simbiosis, no se podrían intercambiar los genomas de los simbiotes por lo

³⁸ Se describe brevemente el proceso de simbiogénesis pero se debe tener en cuenta que los objetivos de la investigación no se inclinan a describir los aspectos genéticos de este proceso, sino la importancia que tiene el modelo dentro de la biología evolutiva.

que no podría desarrollarse nuevas funciones. Se ha señalado la importancia de ambos procesos y las principales partes de éstos. En los siguientes capítulos se explicará cómo estos procesos determinaron la generación de nuevas estructuras celulares en la tierra primitiva.

2.2.2 Antecedentes del modelo de endosimbiosis seriada

Las primeras hipótesis sobre el origen endosimbótico de los orgánulos se generaron por los investigadores rusos: Andrei Sergeivich Famynstin (1835-1918), Konstantin Sergeevich Merezhkovsky (1855- 1921), y Boris Mikhaylovich Kozo-Polansky (1890-1957), quienes a lo largo de sus carreras enfatizaron el papel de la simbiosis en el proceso evolutivo (Guerrero, 2011, p.184). Al mismo tiempo y de manera independiente el investigador Ivan Emmanuel Walli (1883-1969) trabajó con procesos de simbiosis (Margulis, 1992, p.11). La mayoría de estas investigaciones pasaron desapercibidas, excepto para Lynn Margulis quien reconoció que estos trabajos fueron fundamentales para el desarrollo de la teoría de endosimbiosis seriada.

Dentro de estas investigaciones se encuentra la del botánico Konstantin Sergeivich Merezhkovsky en sus obras *On the Nature and Origin of Chromatophores in the Plant Kingdom* y *Le plant considérée comme un complexe symbiotique*, se expone una hipótesis sobre el origen simbiótico de los cloroplastos, donde se infiere que las cianobacterias originaron estos orgánulos, la investigación se apoyó en las siguientes evidencias:

- 1.-Las observaciones sobre la reproducción independiente del cloroplasto
- 2.- La información del origen polifiletico de la vida
- 3.- Los reportes de simbiosis entre algas y animales
- 4.- Las similitudes fisiológicas entre los cloroplastos y cianobacterias.
- 5.- Los trabajos de Schimper, de la formación de cloroplastos (Sapp, Carrapiço y Zolotonosov, 2002, p. 420).

La hipótesis del origen de los cloroplastos a partir de cianobacteria desencadenó un debate y la idea con el tiempo fue perdiendo fuerza, a principios de la década de los 60, la idea de la endosimbiosis se reseñaba en los libros de texto americanos sólo como un concepto falso que lleva mucho tiempo en circulación. Se recordó a este investigador por sus contribuciones a la botánica sistemática y no por sus hipótesis sobre la endosimbiosis celular (Knoll, 2004, p.167).

Andrey Sergeivich Famintsyn se reconoce por las investigaciones en torno a los cloroplastos, que fueron básicamente experimentales, aisló e intentó cultivar cloroplastos de células vegetales, él infirió que los plástidos se trataban de cianobacterias atrapadas (Margulis y Sagan, 2003, p.142).

En sus conclusiones se aprecia una perspectiva parecida a la de Merezchkowsky, quien de manera similar, dedujo que los cloroplastos en realidad son cianobacterias que se instalaron en el antecesor de las células vegetales y perdieron su autonomía posteriormente (Guerrero, 2002, p.3).

El botánico Kozo Boris Mijáilovich Polyansky explicó que el papel de la selección natural en el proceso evolutivo es mantener y perpetuar la novedad evolutiva, pero no se genera innovación a través de la selección, en su concepción para comprender cómo evolucionan las especies se debe tener en cuenta tres aspectos evolutivos: (1) el potencial biótico, (2) la selección natural y (3) la simbiogénesis.

El potencial biótico se refiere a la tasa de crecimiento de las poblaciones, la simbiogénesis a la novedad evolutiva y la selección natural implica la permanencia de los cambios hereditarios favorables en las poblaciones, Polyansky interpreta al proceso evolutivo como un sistema en el cual ninguna parte es más importante que otra, al contrario, todos son importantes (Margulis, 2010, p.1527). Bajo esta línea de pensamiento la simbiosis está implicada en el desarrollo de la motilidad celular (Guerrero, 2011, p.184).

Por último el anatomista Iván I.Wallin, a diferencia de sus contemporáneos, desarrolló sus investigaciones en Estados Unidos, publicó el libro *Symbiogenesis and the origin of the species* en 1927, en esta publicación argumentó la importancia de la simbiosis para la evolución celular. Propuso que la vida animal y vegetal se originó por el simbiotismo³⁹, es decir, la formación de complejos microsimbóticos, de esta manera las especies se formaban por la adquisición permanente de bacterias simbióticas (Margulis, 2002, p. 129.) para explicar cómo se forman estas relaciones propone la hipótesis de la prototaxis⁴⁰, proceso que se forma antes de la propia simbiosis en cualquier asociación que involucre a más de un tipo de vida (Margulis y Sagan, 2003, p. 143).

³⁹ El término simbiotismo es homólogo al de simbiogénesis, lo propone al desconocer las contribuciones de sus contemporáneos.

⁴⁰ El término prototaxis, se refiere a las tendencias de los organismos, positivas o negativas, que los lleva a establecer una relación simbiótica.

Los modelos mencionados tratan sobre el origen de las estructuras a través de procesos simbióticos. En 1900 comenzaron a proponerse estas hipótesis y la biología molecular se encontraba poco desarrollada así que evidencias como los análisis de DNA no existían y no tuvieron fuertes repercusiones en ese momento. Todas las investigaciones que se realizaron se redescubrieron por Lynn Margulis que menciona la importancia de cada trabajo para el desarrollo del modelo endosimbiótico.

Como resultado de una extensa revisión de la literatura y experimentos moleculares, se presentó la teoría de la endosimbiosis seriada de Lynn Margulis en 1967 en la revista *Journal of Theoretical Biology*. Explica que los componentes de las células eucariotas se originaron por endosimbiosis (Guerrero, 2011, p.183) la investigación se respaldó en una serie de evidencias del origen simbiótico de las mitocondrias y los plástidos, se propuso una tercera incorporación simbiótica⁴¹ sobre el origen del nucleocitoplasma y los undulipodios (Margulis, 1992, p.12).

Se ha puesto de relieve la importancia de la simbiogénesis para entender la conformación de la célula eucariota y el surgimiento de la variación de manera diferente a la mutación. El ambiente juega un papel determinante para que las asociaciones entre especies se realicen, en este sentido se expondrá brevemente las principales características de la tierra que permitieron la generación de los orgánulos por simbiogénesis.

2.2.3 Características de la Tierra primitiva

El proceso simbiogénico inicia con el establecimiento de las asociaciones simbióticas, durante la formación de estas, las presiones selectivas presentaron un papel crucial, es importante que se conozcan las características principales del ambiente en la Tierra primitiva para que se comprenda la relevancia de estas relaciones para la evolución de los eucariontes.

La Tierra poseía una atmósfera reductora durante sus primeros años de vida, estaba compuesta de hidrógeno y otros componentes en estado reducido, pero sin oxígeno, si la atmósfera hubiera sido oxidante los compuestos orgánicos no se hubieran formado ya que reaccionarían químicamente. (Margulis, 1981, p. 128).

Las evidencias indican que durante la atmósfera anixogénica, sólo existieron organismos anaerobios que obtenían su energía a partir de reacciones químicas, posteriormente se

⁴¹Se habían descrito la hipótesis del origen simbiótico de la mitocondria y los plástidos, la innovación que se presente en la teoría de la endosimbiosis seriada hace referencia al nucleocitoplasma y los undulipodios, que serían la primera asociación para explicar el origen de la célula con núcleo.

desarrollaron los procesos fotosintéticos en cianobacterias y en consecuencia a la cantidad de oxígeno atmosférico aumentó en concentración. (Duve, 2004, p.170-171). Dentro de estas evidencias se encuentra la presencia de pirita en los sedimentos, ésta se acumuló durante los eones arcaico y proterozoico en las rocas pero con el aumento del oxígeno, la pirita no se siguió acumulando porque era destruido por este elemento, esto se hizo evidente en el registro estratigráfico (Knoll, 2004, p.131).

Se deduce que las cianobacterias son responsables del aumento del oxígeno en la atmósfera, aunque existen hipótesis alternativas al respecto; se infiere que la radiación ultravioleta, degrada la molécula del agua y en el proceso se produce una porción de oxígeno molecular (Fontúrbel y Molina, 2004, p.6).

La producción de oxígeno libre como subproducto de la fotosíntesis, indujo que se produjera una crisis; los organismos unicelulares se encontraron en una atmósfera diferente, como consecuencia la producción de compuestos orgánicos de manera natural se detuvo, y cambió la manera de obtener energía por parte de los microorganismos (Sagan, 1967, p.228).

Los cambios que se dieron en el ambiente como: el aumento del oxígeno y la nula producción de compuestos orgánicos ejercieron una fuerte presión de selección, en los microorganismos que no podían sobrellevar el oxígeno y se formaron relaciones parasitarias en un intento de estos organismos por sobrevivir.

2.2.4 Primera incorporación simbiótica: El nucleocitoplasma y los undulipodios

La primera endosimbiosis se desarrolló cuando el oxígeno aumentó de manera considerable en el ambiente, de esta relación se generaron dos estructuras fundamentales para los eucariontes; el nucleocitoplasma⁴², responsable de los procesos moleculares de los eucariontes primitivos y los undulipodios, orgánulos encargados del movimiento.

La simbiosis se estableció en dos organismos anaerobios; arqueobacterias⁴³ parecidas a *Thermoplasma* y espiroquetas. La primera endosimbiosis se describe de la siguiente manera:

⁴²El término nucleocitoplasma se refiere a un único sistema eucariótico que se conforma de ADN asociado a la membrana nuclear, con un citoplasma externo al núcleo rico en ribosomas, en este sistema el ADN nuclear determina secuencias de ARN mensajero que se desplazan a través del citoplasma para que se sinteticen proteínas específicas, no existe ninguna célula eucariota que carezca de un sistema nucleocitoplasmático.

⁴³El término *Thermoplasma* se refiere a un género dentro de las arqueobacterias, son organismos anaeróbicos que prosperan en ambientes ácidos y de alta temperatura.

En primer lugar, un tipo de bacteria amante del azufre y del calor, llamada arqueobacteria fermentadora (o termoácidofila), se fusionó con una bacteria nadadora. Juntos los dos componentes integrados de la fusión se convirtieron en el nucleocitoplasma, la sustancia base de los ancestros de las células animales, este organismo nadador era como, sus descendientes actuales, un organismo anaerobio [...] (Margulis, 2002, p.52).

El nucleocitoplasma se formó por la estructura metabólica de las arqueobacterias; la mayor parte del metabolismo relacionado con la producción de proteínas procede de estas arqueobacterias termoácidofilas parecidas a *Thermoplasma* (Margulis, 2002, p.48).

Existe evidencia que respalda la idea de *Thermoplasma* como el ancestro del nucleocitoplasma: la composición molecular de este organismo presenta proteínas similares a las histonas que se conocen como HTA, que mantienen protegido de la radiación y el calor al material genético. También se ha localizado proteínas similares a la actina, las características que se mencionaron son típicas de organismos eucariontes (Margulis, 1996, p. 162).

A partir del desarrollo del nucleocitoplasma, los mecanismos celulares se especializaron y se inició con el desarrollo de los complejos metabólicos en eucariontes.

El segundo paso de la SET se genera en la primera endosimbiosis; el desarrollo de los undulipodios, este punto ha generado controversia; se ha mencionado que pocos biólogos están de acuerdo con la explicación sobre el origen de estas estructuras (Margulis, 2001, p.89).

El término undulipodio se refiere a los flagelos eucariontes que se originan de la fusión entre la *arqueobacteria* y la bacteria nadadora. Se infiere que los cilios, las protuberancias sensoriales e incluso las colas de los espermatozoides surgieron durante la primera asociación simbiótica, que originó el nucleocitoplasma (Margulis y Sagan, 2001, p. 90).

Esta simbiosis se establece, cuando los organismos similares a *Thermoplasma* ingerieron procariontes pequeñas, la arqueobacteria ancestral adquirió un parásito: una espiroqueta (Sagan, 1967, p.228). Las espiroquetas se adhirieron a la superficie de sus hospedadores para aprovechar el alimento que se excretó por la membrana externa de las arqueobacterias, se estableció a largo plazo esta relación y las espiroquetas comenzaron a impulsar a sus hospedadores a través del medio acuoso (Margulis, 2001, p.92).

Los undulipodios permiten a la célula desplazarse en medios acuosos, pero también tienen un papel protagonista durante la “*danza de los cromosomas*”⁴⁴ (Margulis, 1992, p.12).

La importancia de esta endosimbiosis que dio paso a los procesos de simbiogénesis, se describe de la siguiente manera:

[...] Una vez conseguida la coexistencia reproductora por parte de ambos asociados, se impone una especie de tregua bioquímica. El núcleo que hoy actúa como una suerte de gobierno central genético, podría haber evolucionado a partir del desarrollo de una membrana interna destinada a impedir que las espiroquetas devoren el ADN de *Thermoplasma*. Las espiroquetas cautivas, aún móviles, se convierten en última instancia en remolcadores de los cromosomas (Margulis y Sagan, 2005, p.105).

Para comprender la relación que existe entre los undulipodios y la mitosis, se requiere comprender la estructura interna de estos orgánulos; presentan un diámetro aproximado de un cuarto de micrómetro, con una disposición en forma de disco de nueve pares de microtúbulos conocido como (9+2), este complejo surge del cinetosoma que se compone de 9 paquetes de microtúbulos dispuestos de manera circular (Margulis y Sagan, 2001, p156).

La presencia del cinetosoma es determinante para la evolución de la mitosis que se estructuró tiempo después de la adquisición de la motilidad, los hospedadores emplearon los genes del endosimbionte para formar los centrómeros cromosómicos y centriolos involucrados con la mitosis eucariota para distribuir a cromatina nuclear de manera equitativa (Margulis, 1967, p. 11).

En el primer grupo de primitivos flagelados eucariotas, el DNA del simbionte móvil se utiliza para su propia replicación y síntesis de propias proteínas, pero se presentaron mutaciones entre estas poblaciones de organismos, que condujeron a atracciones moleculares entre el DNA del huésped y el DNA del endosimbionte que se encargaba de la formación de la estructura (9 + 2), lo que resultó en la incorporación del genoma del simbionte en el núcleo del huésped. Dentro de las mutaciones, se produjeron dos estructuras (9 +2) homólogas por separado, de esta manera, un homólogo se empleó para el desarrollo **permanentemente** de los centros de división y el otro homólogo se mantuvo como un cuerpo basal en los undulipodios solamente. La ventaja selectiva de estas mutaciones es clara: asegurar al

⁴⁴Término que emplea L. Margulis cuando se refiere a los procesos de mitosis

organismo la distribución de su cromatina y la retención de su motilidad flagelar (Margulis, 1967, p.231).

De esta manera, se establece una relación entre el cinetosoma de los undulipodios y los centriolos implicados en la mitosis, incluso en los organismos se favorecieron diferentes estrategias evolutivas que permitieron se conservaran los undulipodios y los centrómeros, por ejemplo; el proceso de mitosis y los undulipodios no coinciden simultáneamente en una misma célula vegetal o animal (Margulis y Sagan, 2001, p.162-163).

En este sentido cuando el cinetosoma se encuentra sin el undulipodio su forma es idéntica a la del centriolo, es más, el centriolo que se encuentra en el polo mitótico puede desplazarse al borde de la célula y generar un undulipodio. Además de tener la misma forma y función, ambos se encuentran formados por el mismo tipo de proteína: tubulina, con la que se forman los microtúbulos (Margulis, 1992, p.13).

La hipótesis sobre el origen de los undulipodios se apoya en evidencia molecular como: el descubrimiento de **DNA** vestigial en *Chlamydomonas*⁴⁵ o la presencia de microtúbulos en las espiroquetas que habitan en el intestino de las termitas. (Margulis, 2002, p.61). En esta hipótesis también se presentan puntos débiles como el escaso **RNA** del cinetosoma o la falta de material genético en los undulipodios (Margulis, 2001, p. 95).

Aunque todavía no es aceptada completamente la hipótesis del origen de los undulipodios, esta estructura es de gran importancia para los eucariontes, porque a partir de ella se desarrolla el proceso de meiosis que permite la recombinación genética, la cual es una fuente principal de variación genética en los organismos.

2.2.5 Segunda incorporación simbiótica: La mitocondria

En el tercer paso de la SET explica el origen de la mitocondria. En esta etapa las condiciones ambientales son importantes para la formación de la simbiosis.

Conforme la cantidad de oxígeno en la atmósfera aumentó, se desarrollaron microorganismos respiradores, que dependían enteramente de este gas para su metabolismo, por lo que, la simbiosis en el eón proterozoico fue una alternativa para las especies que habitaban en ambientes aeróbicos. (Margulis, 1981, p.129).

⁴⁵Es un género de algas verdes unicelulares flageladas.

El tercer paso dentro del modelo de endosimbiosis seriada se describe de la siguiente manera:

[...] Esta segunda fusión, en la que el anaerobio nadador adquirió un respirador de oxígeno, condujo a células con tres componentes cada vez más preparadas para soportar los niveles de oxígeno libre que se acumulaban en el aire. Juntos, el delicado nadador, la arqueobacteria tolerante al calor y al ácido y el respirador de oxígeno formaban ahora un único y prolífico individuo que produjo nubes de prole (Margulis, 2002, p. 60).

La hipótesis propone que el organismo anaerobio heterotrófico simbiote ingirió a un procarionte aeróbico, éste no se digirió; se quedó atrapado en el citoplasma del hospedador, y esta asociación marcó el comienzo de la evolución de los primeros microorganismos ameboideos aerobios (Sagan, 1967, p.228).

Esta asociación fue benéfica para las dos partes, los organismos anaeróbicos móviles se desplazaban en el ambiente y aprovechaban los productos energéticos del metabolismo de su simbiote, mientras sus simbioses aeróbicos encontraron en su hospedador un medio rico en nutrientes como resultado de los procesos de fermentación que llevaban a cabo. En algún momento, los hospedadores se hicieron dependientes de sus simbioses y estos renunciaron a la vida libre (Margulis, 2003, p.89).

El procarionte aeróbico, se convirtió en la protomitocondria⁴⁶, que contenía enzimas involucradas en el ciclo de Krebs y la oxidación de carbohidratos además es capaz de fermentar la glucosa a piruvato por la ruta Embden-Meyerhof (Margulis, 1981, p.206). Con esta endosimbiosis inicia el desarrollo metabólico aeróbico en eucariontes, gracias a la oxidación de la glucosa empleando oxígeno en el ciclo de Krebs. Esta reacción solo se produjo en la mitocondria simbiótica bajo la dirección de sus propios genes y no de la célula huésped (Sagan, 1967, p.19).

A partir de la adquisición de las mitocondrias se llegó a la colonización del mundo aeróbico a partir de los descendientes de la simbiosis entre las espiroquetas y *Thermoplasma*, a estos organismos se les unieron bacterias gram-negativas similares a los géneros *Paracoccus*, *Bdellovibrio* y *Daptobacter*. (Margulis, 1996, p. 168).

⁴⁶En la actualidad se conoce que la protomitocondria era una proteobacteria primitiva, la cual sufrió modificaciones en su proteoma por lo que solo hay pocas proteínas que correspondan al ancestro alfa-proteobacterial.

El desarrollo de la mitocondria en las células primitivas les brindó una ventaja radical, cuando se emplea el oxígeno en procesos celulares relacionados con la transformación de energía, se incrementa la producción de ATP, y se desarrolla la respiración, se hace quince veces más eficiente la utilización de las moléculas de azúcar (Margulis y Sagan,2005, p.105).

Se ha demostrado que las mitocondrias de todos los organismos contienen los componentes esenciales de los sistemas de replicación bacterianos, poseen su propio **DNA**, **RNA** y ribosomas, envueltos por membranas mitocondriales. También se analizó la sensibilidad de las células a los antibióticos y se comprobó que los ribosomas de las mitocondrias y las bacterias aeróbicas son sensibles a los mismos antibióticos (Margulis, 2001, p.82).

Para concretar las evidencias se ha demostrado que las mitocondrias conservan características muy similares a las células procariontes, porque:

- 1.- Se dividen por un mecanismo similar a la fusión binaria
- 2.- Los procesos respiratorios que suceden en su interior son muy similares a los que suceden en las bacterias aeróbicas actuales
- 3.- En la matriz mitocondrial es posible encontrar varias copias de un genoma mitocondrial, así como RNAs y ribosomas de tipo bacteriano que participan en la síntesis de proteínas (González- Halphen, Pérez-Martínez, Funes, Reyes-Prieto y Santillán-Torres, 2007, p.202).

Las presiones selectivas que permitieron el origen de la mitocondria y el desarrollo de la respiración fueron factores clave en el origen de los eucariontes, pues se formó una manera más eficaz de producir energía.

A parte de la importancia del origen del nucleocitoplasma, undulipodios y mitocondria, la última innovación en el proceso de eucariosis son los plástidos.

2.2.6 Tercera incorporación simbiótica: Los plástidos

Cuando las células eucariontes primitivas⁴⁷ estuvieron totalmente integradas, se adquirió el último endosimbionte: un procarionte fotosintético⁴⁸. De esta manera se daba una innovación

⁴⁷El término eucarionte primitivo hace referencia al organismo simbiótico conformado por el nucleocitoplasma, los undulipodios y la mitocondria.

⁴⁸El procarionte fotosintético al que hace referencia es principalmente una cianobacteria.

importante para el modo de vida de algas y plantas. Se describe este último proceso endosimbiótico de la siguiente manera:

[...] Los respiradores de oxígeno engulleron, ingirieron, pero no pudieron digerir bacterias fotosintéticas de color verde brillante. La literal “incorporación” tuvo lugar tras una gran lucha en la que las bacterias verdes no digeridas sobrevivieron y la fusión completa prevaleció (Margulis, 2002, p.60).

Con la adquisición de los plástidos, los protistas obtuvieron un suministro continuo de nutrientes a partir de las bacterias fotosintéticas, a cambio, éstas obtuvieron un sitio para vivir y transporte rápido hacia la luz.(Margulisy Sagan, 2005, p.109).La teoría del origen simbiótico de los cloroplastos a partir de las cianobacterias se respalda por evidencia molecular como, la existencia de ribosomas con estructuras similares a la de los procariontes con **RNA** ribosomal, también con el genoma de *Euglena*⁴⁹ se ha demostrado que el nucleocitoplasma y los plástidos son sistemas genéticos que funcionan de manera independiente⁵⁰. Se puede notar una dependencia del nucleocitoplasma en sus plástidos más pronunciada en las plantas terrestres, ya que, son incapaces de sobrevivir a la pérdida de la capacidad fotosintética, excepto bajo condiciones muy especiales. (Margulis, 1981, p.319).

En este sentido los plástidos conservan rasgos de sus antepasados procariontes como:

- 1.- La clorofila y las cadenas transportadoras de electrones, tanto en las cianobacterias como en los plástidos, están dispuestas en membranas multilaminares denominadas tilacoides,
- 2.- Los plástidos poseen su propio **DNA-RNA** y pueden sintetizar partes de las proteínas que forman sus membranas.
- 3.- El **DNA** de los genes de los plástidos se parece al **DNA** de las células procarióticas; es una molécula circular no revestida por las proteínas (histonas) que cubren el **DNA** de los eucariontes. (Margulis, 2001, p.85).

⁴⁹Las *Euglenas* son protistas unicelulares con numerosos cloroplastos en forma de lente o aplanados.

⁵⁰Funcionan de manera independiente porque los plástidos no dependen del material genético del núcleo y el núcleo no tiene ninguna relación con el genoma de los plástidos. De esta manera son independientes genéticamente, y sus fenotipos establecen la simbiosis en la que ambas partes se benefician.

La diversidad de vida en las algas y sus estructuras celulares implican que distintos procariontes fotosintéticos⁵¹ fueron ingeridos por los eucariontes primitivos en distintos momentos durante la evolución, con el tiempo, se convirtieron en los plástidos conservando sus pigmentos fotosintéticos característicos (Sagan, 1967, p.247).Entonces los protoplastidos, fueron adquiridos por diferentes protistas heterótrofos, debido a que el establecimiento de estas simbiosis no era simultáneo; se sugiere que la simbiosis se formó en varios momentos durante la evolución de la mitosis (Margulis, 1981, p.324).

De manera independiente a las evidencias que respaldan la veracidad de esta hipótesis se ha discutido, si, todas las clases de los plástidos⁵² derivan de un único evento endosimbiótico o por múltiples eventos. Por las evidencias disponibles actualmente se sugiere que un suceso de endosimbiosis primaria es suficiente para explicar la distribución de los cloroplastos, pero la evidencia se encuentra muy fragmentada y es casi imposible distinguir entre un único evento endosimbiótico de varios eventos independientes estrechamente espaciados (Olson y Blankenship, 2004. p. 374.).

La teoría simbiótica del origen de los plástidos propone que la fotosíntesis se adquirió muchas veces, por varios tipos de células heterotróficas con núcleo, después de la adquisición de procariontes fotosintéticos, estos protozoos se convirtieron en algas móviles que poseían la eficiencia, la rapidez de movimiento y la capacidad de desarrollo de los protozoos junto a las reacciones fotosintéticas de los procariontes aeróbicos (Margulis, 2005, p, 92). Con la conformación de los distintos tipos de plástidos se separan los diferentes organismos eucariontes primitivos.

El resultado de la simbiogénesis desarrolló la complejidad metabólica hasta la estructura fisiológica de los organismos y se generaron las primeras células eucariontes.

Los procesos simbiogénéticos desarrollaron a los organismos nucleados; el origen simbiótico de las mitocondrias y los cloroplastos es aceptado por la comunidad científica y existen evidencias irrefutables de la importancia de los procesos de simbiogénesis en el origen de las especies. Existen organismos conocidos como líquenes, que son resultado de la simbiosis entre dos organismos de diferente especie.

⁵¹ Existen procariontes fotosintéticos a parte de las cianobacterias, que pudieron dar origen a distintos tipos de protoplastidos de acuerdo al pigmento fotosintético que contengan.

⁵² Además de los cloroplastos existen leucoplastos y cromoplastos, se clasifican de acuerdo con su pigmento fotosintético

2.2.7 Efecto de la simbiogénesis: Los líquenes

Margulis y Sagan (2005) reconocen que los líquenes son resultado de la asociación entre hongos y algas o cianobacterias; si se separan los componentes fúngicos y algales se parecen en nada fisiológicamente a un líquen (Margulis y Sagan, 2005, p.146).

Si se separa y cultiva el simbiote fotosintético, la excreción de azúcar cesa y no se reanuda aunque se introduzca en el cultivo un extracto del hongo inductor, este comportamiento evidencia la necesidad de la simbiosis, se forma una relación compleja donde las células de estos organismos se comunican metabólicamente (Margulis y Sagan, 2005, p.146).

El tamaño y la forma del líquen no se definen con precisión debido a la diversidad de formas que presenta, sin embargo estos organismos superan a los animales en longevidad: algunos pueden vivir hasta 4000 años (Margulis y Sagan, 2005, p.146).

Los líquenes facilitan el estudio de los simbioses, se ha identificado que al privar de luz a estos organismos las cianobacterias conocidas como fotobiontes no pueden sobrevivir, entonces el hongo suele crecer sin parar dirigiendo a su simbiote hacia la luz (Margulis y Sagan, 2003, p.47).

Estos organismos no pueden vivir en condiciones de mucha o poca luz o demasiada humedad o sequedad, se requiere una coordinación entre ambos para que se mantenga su composición y apariencia (Margulis y Sagan, 2003, p.47). Todas estas características evidencian lo complejos que son los procesos simbiogénicos.

Los modelos que propusieron Darwin y Margulis sobre la adaptación y el origen de la variación por simbiogénesis es relevante para la Biología evolutiva, porque ambas teorías explican diferentes aspectos de la evolución de las especies, la relación entre estas teorías ha sido un punto de polémica dentro de la comunidad científica.

En el siguiente capítulo se comparan los aspectos fundamentales del MEVSN y del MES para argumentar que ninguno de estos modelos se encuentra en competencia y que ninguna puede tomar el lugar de la otra para explicar el proceso evolutivo, en particular la variación y la adaptación.

2.3 RELACIÓN ENTRE EL MODELO DE EVOLUCIÓN POR VARIACIÓN Y SELECCIÓN NATURAL Y DE ENDOSIMBIOSIS SERIADA

La relación entre el MEVSN y el MES ha sido sumamente polémica, en este sentido Sampedro (2002) menciona que la ortodoxia neodarwinista se resiste a aceptar la teoría de Margulis por el hecho de que no encaja con los conceptos que aborda la teoría sintética (Sampedro, 2002, p.35). En relación con estas discrepancias conceptuales entre teorías, se infiere que el modelo endosimbiótico pone en peligro la credibilidad de ejes principales del neodarwinismo como; el gradualismo, las mutaciones y la lucha por la existencia (Abdalla, 2009, p. 22).

Se reconocen diferencias claras entre ambos modelos, por ejemplo bajo el pensamiento de Margulis y Sagan (2003) el uso de lenguaje como: *competencia, cooperación, beneficio mutuo o ventaja competitiva* no es adecuado para explicar el proceso evolutivo por lo que se rechaza su uso ampliamente⁵³ (Margulis y Sagan, 2003, p.42).

Chávez (2012) Menciona que por las diferencias epistemológicas y conceptuales entre ambas teorías se ha llegado a pensar que la teoría de la endosimbiosis podría ser una alternativa a la teoría sintética, en virtud de que difiere radicalmente en dos de los postulados fundamentales de la teoría sintética; la evolución de manera gradualista y la selección natural como principal motor evolutivo⁵⁴ (Chávez, 2012, p. 67).

2.3.1 Fenómenos evolutivos representados en el MEVSN y el MES

A través del modelo de evolución por variación y selección natural se explica que los individuos con características sobreviven y aumentan sus posibilidades de dejar descendencia y con el paso del tiempo aumentar en la población el número de individuos que portan dichos rasgos, se reconoce este punto como un pilar para entender el origen de nuevas especies por la acumulación gradual de variaciones favorables, (Noguera y Ruiz, 2010, p. 27).

Dicha explicación se centra en explicar la adaptación de los organismos tales como: las alas de las aves, las aletas en los peces o los cuerpos lisos en las serpientes y cada uno de estos rasgos es resultado del proceso evolutivo (Noguera y Ruiz, 2010, p.28).

⁵³ Margulis y Sagan explican que por el uso de la terminología no se reflejan las complejas interacciones que se dan en los seres vivos, para mayor información se recomienda consultar el libro *Captando genomas*.

⁵⁴ Para Chávez (2012) la teoría endosimbiótica explica en primer lugar que los cambios evolutivos importantes en eventos claves de la evolución biológica, como la aparición de la célula eucariota, se han dado de una manera no gradual y más acorde con un modelo a saltos y en segundo lugar propone que la selección natural solo juega un papel de ajuste fino de los organismos a su ambiente, sin que la selección natural llegue a ser la causa principal del origen de nuevas especies (Chávez, 2012, p.67).

En este sentido, la selección natural se presenta como un mecanismo de transformación y diversificación de especies que al mismo tiempo es adaptador por que produce y preserva los ajustes de los seres vivos a las condiciones de existencias que genera la diversificación de las formas, se resalta que la selección no se limita a operar sobre la organización interna de los seres vivos; establece los perfiles orgánicos en función de las ventajas que cada modificación puede traer al desempeño de los organismos en la lucha por la supervivencia (Caponi, 2010, p.131).

La explicación darwiniana resalta la importancia de que las variaciones no son ventajosas directamente sino que podrán serlo tras un proceso que incluye las complejas relaciones entre los organismos y de estas con el ambiente (entendidas como presiones de selección), entonces dichas variaciones podrán ser consideradas adaptaciones. A pesar de que existen características que son benéficas para los organismos, **la ventaja se podrá apreciar si permite que la supervivencia sea diferencial** y la característica (que será adaptativa) se pueda heredar (Guzmán, 2013, p.69).

Se ha explicado la adaptación como un fenómeno evolutivo que se explica a partir del MEVSN, vale recalcar que éste modelo contribuye junto con otros, a explicar dos de las más grandes preguntas de la evolución: el origen de las nuevas especies (especiación) y la adaptación. Sin embargo se considera que el MEVSN es el único capaz de explicar el proceso adaptativo⁵⁵ (González y Meinardi, 2013, p.222).

Al contrario de este modelo, la teoría endosimbiótica no explica las adaptaciones de las especies, más bien se dedica a explicar una nueva fuente de variación: la simbiogénesis.

La simbiogénesis es una consecuencia evolutiva de la simbiosis, y es a su vez el proceso que lleva a la formación de nuevas estructuras y funciones como producto de la convivencia durante largo tiempo de dos o más organismos de diferentes especies (Margulis, 1992, p.11).

Para Hernández- Marroquin (2011) el principal pilar de la teoría evolutiva que explican Margulis y Sagan (2003) en la publicación de *Captando genomas*, es el siguiente:

[...] El principal pilar de su teoría consiste en identificar la ausencia de una explicación para la variabilidad en la síntesis moderna y proponer que los procesos

⁵⁵Si se trata de explicar la evolución en general seguramente hay modelos alternativos (y, más frecuentemente complementarios) al modelo de evolución por selección natural, en cambio, si se trata de analizar la evolución adaptativa no existen tales modelos alternativos (González y Meinardi, 2013, p.222).

simbiogénicos pueden llenar ese vacío conceptual. Para Margulis y Sagan la variación genética se explica principalmente por la adquisición de genes o genomas entre organismos de diferentes especies o taxones (Hernández, 2011, p.154)

Cabe resaltar que la teoría sintética explica el origen de la variación genética por procesos de mutación y recombinación genética (Abdalla, 2006, p.5). Aunque para Margulis y Sagan (2003) la principal fuente de variación hereditaria que conduce a la novedad evolutiva procede de la adquisición de genomas y no de la mutación⁵⁶ (Margulis y Sagan, 2003, p. 36).

En este sentido se deduce que la simbiogénesis es un mecanismo evolutivo más brusco que la mutación por que la unión simbiótica llega a ser permanente (Margulis, 2001, p.51). La relación entre la mutación y la simbiogénesis se explica más adelante en este documento.

Lo cierto, es que, los procesos simbióticos que dan pie a la variación por simbiogénesis son imprescindibles para que los organismos sobrevivan a las diferentes condiciones de vida cambiantes, por ejemplo se sabe que algunas familias de vegetales como las leguminosas no se desarrollan en suelos con cantidades bajas de nitrógeno sin las bacterias que fijan dicho elemento y los seres humanos no pueden vivir sin el nitrógeno que procede de las plantas (Margulis, 2001, p.53).

Margulis desarrolló una visión de la evolución que hace hincapié en la simbiosis, otros autores (Sampedro, 2002; Chávez, 2012 y la misma Margulis en ocasiones), se han referido a la endosimbiosis como un mecanismo evolutivo alternativo. Sin embargo, es más acertado considerar este modelo como una fuente de variantes que luego podrían ser seleccionadas, en este sentido se ha enfatizado la importancia de la evolución de las relaciones simbióticas tales como las multisimbiosis liquénicas y las micorrizas (González y Meinardi, 2013, p. 224).

En consecuencia se infiere que ambos modelos no pretenden explicar fenómenos evolutivos parecidos, sin embargo se encuentran ligados para explicar aspectos diferentes sobre la evolución de las especies. Por un lado la teoría sintética explica cómo se desarrollan las adaptaciones de las especies a través de la variación y la selección natural y la teoría endosimbiótica seriada explica una innovación evolutiva; el origen de la variación biológica por simbiogénesis principalmente en organismos procariontes.

⁵⁶Cabe resaltar que en esta investigación no se pretende entrar en debate sobre cuál es la principal fuente de variación biológica. Se considera que sea cuál sea el origen de la variación si ésta es benéfica para el organismo y le permite sobrevivir en un determinado tiempo - espacio y dejar descendencia fértil será objeto de selección natural.

2.3.2 Objetos de estudio: Individuos, poblaciones y comunidades

Cuando se estructuró la teoría de evolución por variación y selección natural, se infirió que este modelo actúa a nivel: organísmico, establece que todo orden superior emerge por la lucha entre los organismos individuales en beneficio propio, este aspecto se percibe por el éxito reproductivo diferencial de los individuos (Gould, 2004, p.152).

La integración de la genética de poblaciones con la teoría darwiniana explica cómo la mutación la recombinación, la selección natural y otros procesos operan sobre las características principales de los organismos en una población (Futuyma, 1999, p. 25).

Los organismos darwinianos⁵⁷ según Gould y Lloyd (1999) se definen bajo los siguientes criterios:

- 1.- La estabilidad que presente un organismo entre el punto de nacimiento y de muerte, lo marcará como potencial para ser un interactor darwiniano.
- 2.- Debe manifestar dos propiedades que le permitan ser agentes evolutivos: se debe generar descendencia (en un número potencialmente diferencial entre los individuos) y la descendencia debe parecerse más a sus progenitores que a otros miembros de la misma generación
- 3.- Deben funcionar como interactor en el ambiente (Gould y Lloyd, 1999 p.11906).

A pesar de que la unidad de selección que se establece por Darwin es el organismo, se han identificado distintas unidades de selección en distintos niveles de organización bajo el término *interactor* (Guzmán, 2013, p. 28).

Los interactores se identifican porque: (1) interactúan con el medio ambiente que incluye los factores bióticos y abióticos, (2) uno o más de sus rasgos presentan éxito reproductivo diferencial a través de la interacción (3) De forma relativa (si se compara con otros individuos en su mismo nivel) su material genético se hereda a la siguiente generación (Gould y Lloyd, 1999, p.11904).

Se puede deducir que, bajo este modelo, una unidad de selección es cualquier entidad del mundo vivo que cumple con las características que se mencionaron⁵⁸ (Guzmán, 2013, p. 29). El

⁵⁷Término que se emplea por Gould y Lloyd para nombrar a las unidades de selección.

concepto de interactores amplifica la cantidad de unidades de selección que se presentan en los diferentes niveles de organización biológica bajo los que puede actuar la selección natural.

La selección se ejerce sobre los organismos e interactores, pero un aspecto primordial de la teoría es la visión poblacional que presenta, bajo esta línea de pensamiento se puede entender; (1) la variación biológica tanto dentro como entre especies, (2) el razonamiento de Malthus en lo referente a la reproducción y al uso de los recursos y (3) las interacciones complejas entre el genotipo, el fenotipo y la eficacia biológica⁵⁹ (Lessa, 2009, p. 75-76).

La carencia de un pensamiento poblacional dificulta la comprensión de la evolución como un cambio en la proporción de individuos con características discretas. Como se ha mencionado, la teoría sintética sostiene que las características nuevas surgen por cambios genéticos en los individuos de una población, al ser seleccionadas dichas características se establecen de forma gradual en la población por lo que el número de individuos que las poseen aumenta (Hernández *et al.*, 2009, p. 110-111).

El modelo endosimbiótico considera a los individuos como comunidades íntimamente ligadas (Margulis y Sagan, 2003, p.91). Existen evidencias de que el origen de las mitocondrias, los cloroplastos y los flagelos se debe a que en algún momento de la evolución temprana de vida estas células tuvieron procesos de endosimbiosis y en conjunto desarrollaron la célula eucarionte, posteriormente esta hipótesis se amplió a la simbiogénesis como una teoría evolutiva general (Hernández, 2010, p.154).

Al principio, este modelo se enfocó en el *microcosmos*, es decir, en los microorganismos que de manera individual o en agregados multicelulares fueron los únicos habitantes de la tierra hace 4000 millones de años (Margulis y Sagan, 2001, p. 21). La teoría explica la importancia de los microorganismos para el proceso evolutivo desde los inicios de la vida hasta la actualidad.

En este sentido se reconoce que los microbios⁶⁰ son indispensables en toda estructura viva y necesaria para la supervivencia de los seres vivos. Por tal importancia, en este modelo se establece que todas las formas de vida son agregados meticulosamente organizados de vida microbiana en evolución, (Margulis y Sagan, 2001, p.48-49).

⁵⁸En este sentido, explica Guzmán que, si se realiza un análisis a nivel poblacional, se considera a la población como el organismo darwiniano.

⁵⁹El conocimiento de estas interacciones permite que se comprenda la evolución de una característica cualquiera, ya que no es suficiente que se identifique el origen de una variante, también es crucial interpretar el proceso que llevó a su permanencia y si, correspondiese, su fijación en un linaje.

⁶⁰Término que se emplea por Margulis y Sagan para referirse a los microorganismos, gérmenes, protozoos o bacterias según el contexto.

Entonces se postula que los organismos no son seres individuales como se piensa, porque se han integrado por diversas clases de organismos, se considera que los seres humanos son una comunidad ecológica (Margulis y Sagan, 2003, p.46).

Se considera a los seres humanos como entes simbióticos porque el cerebro y la capacidad de pensamiento se desarrollaron por las proteínas de los microtúbulos que evolucionaron de las bacterias o por el proceso respiratorio que realizan las mitocondrias que en algún momento fueron bacterias respiratorias (Margulis y Sagan , 2003, p.63

Se deduce que la individualidad⁶¹ de los organismos no proviene de forma exclusiva por procesos de diversificación y ramificación debido a que también se presenta por la integración y diferenciación de seres fusionados que se reconocen como un todo único con el paso del tiempo (Margulis y Sagan , 2003, p.91), En este sentido también se explica que

[...] Las restricciones en este flujo promiscuo de genes, y por consiguiente la posibilidad de especiación, comenzaron en el Eón Proterozoico inferior, hace unos 2500 millones de años, cuando las transformaciones de las células bacterianas en consorcios y comunidades condujeron a la integración, a la construcción de contornos y, finalmente, a las primeras células eucariontas “(Margulis y Sagan, 2003, p. 103).

Los objetos de estudio de ambos modelos en principio se reconoce son distintos; la teoría sintética explica la adaptación y la diversidad, se respalda de evidencias principalmente de organismos eucariontes pero sus postulados se aplican a ambos grupos (procariontes y eucariontes). En cambio el objeto de estudio del modelo endosimbiótico es el origen de las células eucariotas, principalmente la mitocondria y los cloroplastos, éstos se consideran resultado de procesos simbióticos y se apoya en evidencias de microorganismos simbiotes.

Los modelos explican diferentes fenómenos evolutivos y tienen diferentes objetos de estudio. No obstante, a pesar de las diferencias teóricas, el proceso de selección natural tiene un papel preponderante en ambos modelos, como se explica más adelante.

2.3.3 Fuentes de variación: Recombinación genética, mutación y simbiogénesis.

El tema más polémico en la relación con los modelos que son objeto de análisis en esta investigación es sobre el origen de la variación. Para organizar el análisis primero se describirán

⁶¹En esta investigación se entiende por la formación de organismos, individuos o especies únicos.

las fuentes de variación que cada teoría plantea para que se comprenda porqué ha sido un punto de debate dentro de la Biología evolutiva.

En principio, Darwin desconocía el origen de la de variación en los individuos de la misma especie, no obstante, valoró la importancia de éstas en el proceso evolutivo. Con el desarrollo de la teoría sintética se esclareció que las variaciones se originan por dos causas: la recombinación genética y la mutación (Futuyma, 1998, p. 6).

La recombinación genética⁶² es un proceso a través del cual fragmentos de cadenas de **DNA** se transfieren de un genoma a otro. El fenómeno de recombinación más conocido es el que ocurre durante la profase I de la meiosis⁶³ (Hernández, 2010, p.54).

La profase I es un estadio de los cuatro en los que se divide a la meiosis, pero debido a la complejidad citológica y molecular de la recombinación, la profase I se divide a la vez en cinco estadios (Leptonema, Cigonema, Paquinema, Diplonema, Anafase I) (Hernández, 2010, p.56). Los procesos básicos que ocurren durante la primera parte de la meiosis se pueden definir de la siguiente manera:

[...] Durante la profase I de la meiosis, las cadenas de ADN se duplican como si fuesen a pasar por una mitosis regular. Se hacen visibles cromosomas formados por dos cadenas idénticas de ADN, a las cuales se les llama *cromátidas hermanas*. Puesto que los organismos diploides tienen dos copias ligeramente distintas de la misma información genómica, aparecen en ellos un par de cromosomas diferentes, conformados por un par de cromátidas hermanas cada uno. Por no ser iguales pero si sumamente parecidos, a ese par de cromosomas se les califica como *homólogos*. Como resultado de ese evento de duplicación se tienen cuatro versiones de un mismo fragmento de genoma: un par de versiones son iguales entre sí (las cromátidas hermanas de un cromosoma), pero ligeramente distintas de a las versiones del otro par (las cromátidas hermanas del otro cromosoma). El intercambio de secuencias ocurre entre dos cromátidas no hermanas. Por lo general el proceso celular de recombinación

⁶² En este sentido se quiere resaltar que el concepto de recombinación genética que se empleará es el que se define por Hernández, se explicarán brevemente los diferentes modos de recombinación que existen. En eucariontes se da por mitosis y en procariontes por transferencia de genes (esta sigue diferentes procesos para que se lleve a cabo) pero de manera independiente a los procesos que conllevan se habla de recombinación genética tanto para eucariontes, como para procariontes.

⁶³ La meiosis es el proceso de división celular que permite se obtengan células haploides (n) a partir de células diploides (2n), está directamente relacionado con la sexualidad y tiene serias implicaciones en la supervivencia y evolución de las especies. Para más información se recomienda revisar el material de divulgación proporcionado por Sánchez Guillén en la siguiente liga: http://www.moodlechazc.unam.mx/moodleccha/pluginfile.php/15458/mod_resource/content/1/Meiosis.pdf

reconoce secuencias homólogas dentro de las cromátidas no hermanas; de tal forma, el intercambio sucede en el mismo sitio en los dos cromosomas. El mecanismo de recombinación es tan fino que, aunque hay una transferencia física de moléculas de ADN, no se pierde ni se gana una sola base en el proceso. Al final, las cromátidas que sufrieron recombinación ya no serán iguales a sus hermanas respectivas. En este momento se tendrán cuatro secuencias de ADN verdaderamente distintas (Hernández, 2011, p. 55-56).

A diferencia de la mitosis⁶⁴, donde las cromátidas hermanas se separan, en la meiosis lo que se separan son los cromosomas homólogos que se unían por los quiasmas (Hernández, 2011, p. 57).

Tras la meiosis, la célula humana con cuarenta y seis cromosomas se convierte en un óvulo o espermatozoide con sólo veintitrés, este proceso reduce a la mitad el número de cromosomas que se recuperan tras la fecundación (Margulis y Sagan, 2005, p. 113). La recombinación es la primera vía por la que se produce variación al combinar la información genética de los individuos y permitir que el nuevo ser tenga un genoma único.

En este sentido, formulan Margulis y Sagan que el término sexo⁶⁵ hace referencia al proceso de recombinación genética, ya que durante el sexo ocurre la mezcla o unión de genes (moléculas de **DNA**) procedentes de más de una fuente. Lo que pretenden matizar es que el sexo (recombinación) no está ligado a los procesos reproductivos debido a que cualquier organismo puede recibir nuevos genes sin reproducirse (Margulis y Sagan, 1998, p.17). De esta manera proponen que en los microorganismos también hay sexo porque se recombinan sus genomas, más adelante se describen los procesos de recombinación en los microorganismos.

Además de los procesos de recombinación como origen de variación, otra fuente de innovación evolutiva imprescindible para la teoría sintética es la mutación, ésta se define como un cambio

⁶⁴ Es el proceso de división celular, en que la célula de origen duplica sus cromosomas, proveyendo a ambas células hijas con una copia completa de información genética. Para más información se recomienda revisar el material de divulgación proporcionado por Irene Barriga en la siguiente liga: <http://docencia.izt.uam.mx/ibs/MITOSISMEIOSIS.pdf>

⁶⁵ Margulis y Sagan se cuestionan a profundidad sobre las confusiones que el término sexo puede conllevar y lo expresan de la siguiente manera:

[...] Es algo que nos confunde no sólo porque tiene que ver literalmente con la confusión de dos seres diferentes, que se relevan así el uno al otro de la manera más profunda, sino también porque tendemos a hacer extrapolaciones erróneas acerca de la importancia de la sexualidad. Nuestra existencia biológicamente restringida como seres que se reproducen sexualmente no significa, por ejemplo, que el sexo **copulatorio**, genital sea el único existente, o que el sexo este necesariamente ligado con la reproducción. De hecho la mayor parte de los miembros de cuatro de los cinco reinos de seres vivos no requiere el sexo para su reproducción (Margulis y Sagan, 1998, p.17).

Se hace hincapié en que el proceso de recombinación no incluye la necesidad de que el organismo se reproduzca.

estructural en un gen o cromosoma, estas modificaciones se presentan por causas como: la radiación, los radicales libres e incluso durante la replicación y reparación del **DNA** (Lessa, 2009, p.77)

Se reconoce que la mutación es una variación gradual y continua, se produce en los genes espontáneamente, sin que tenga un carácter adaptativo *per se*, si los cambios por mutación resultan ser benéficos para el organismo la selección natural los mantendrá en la población pero es importante resaltar que la mutación es azarosa en razón de que resulte ser benéfica para el organismo en un espacio tiempo determinado (Ruiz y Ayala, 2002, p.126).

Los procesos que se mencionan como fuente de variación son de vital importancia, porque sin las formas alternativas de los genes, no existiría la diversidad biológica e incluso sería imposible determinar los caracteres genéticos de los individuos. Se esclarece que las interacciones entre las especies en conjunto con la recombinación y la mutación son responsables de la diversidad de organismos (Ruiz y Ayala, 2002, p.126).

Bajo el marco de la teoría sintética las variaciones que se heredan se originan por mutaciones aleatorias, que si se acumulan en el tiempo y dirigen el proceso evolutivo, este hecho innegable se respalda con evidencias como la existencia de proteínas alteradas, cuyo origen puede remontarse a mutaciones genéticas en organismos vivos (Margulis y Sagan, 2003, p 35).

La fuentes de variación que se presentan en la teoría sintética se aplican con mayor facilidad a eucariontes, la recombinación en procariontes difiere extremadamente de la recombinación en animales y plantas, el sexo procariótico⁶⁶ implica la transferencia de genes de una especie donante a una bacteria receptora viva, este movimiento genético que se presenta desde los orígenes de la vida fue y es **fundamental para la supervivencia de la vida** (Margulis y Sagan, 1998, p.50).

En las bacterias según Margulis y Sagan (1998) se presentan diversos mecanismos de transferencia de genes, se describirán a continuación y se pondrá de relieve la trascendencia de la intercambio de genes en los microorganismos.

1.- Conjugación. El **DNA** del organismo donante reemplaza parte del **DNA** de la bacteria receptora tras el contacto célula-célula

⁶⁶Término que emplean Margulis y Sagan para referirse a la recombinación genética, en esta investigación el uso de sexo o recombinación hacen alusión al mismo proceso.

2.- Lisogenia. El donante es el bacteriófago, el **DNA** bacteriano del receptor incorpora un segmento de **DNA** del donante que es un virus reventado.

3.- Transducción. El bacteriófago transfiere parte de su **DNA** a la bacteria y el **DNA** vírico se incorpora al **DNA** bacteriano.

4.- Transformación. El **DNA** que se libera en el medio de bacterias muertas se absorbe e incorpora al genoma bacteriano

5.- Plásmidos. Los plásmidos (pequeños fragmentos circulares de **DNA**) se transfieren a la bacteria receptora, los nuevos genes pueden ser usados inmediatamente por el receptor, que de esta forma adquiere rasgos heredables del donante, como la resistencia a un antibiótico (Margulis y Sagan, 1998, p. 58-59).

En este sentido el modelo simbiogénético no considera a la mutación como la principal fuente de variación en los organismos, se considera a la transferencia horizontal de genes particularmente la simbiogénesis como la principal vía de evolución de nuevas vías enzimáticas, capacidades de transporte de membrana y recursos energéticos en los microorganismos y ésta sería la principal manera por la que la complejidad biológica, la especificidad y la integración celular evolucionan. (Sapp, 2010, p. 20).

La simbiogénesis también se conoce como *hipersexo*, se define como una asociación permanente del que se forma un nuevo tipo de célula: la nucleada, este nuevo individuo con núcleo fue estructuralmente más complicado que sus ancestros bacterianos (Margulis y Sagan, 1998, p.80).

Los procesos simbiogénéticos implican la pérdida masiva de genes durante la transferencia de información genética de los simbioses, existen procesos compensatorios en los simbioses que permiten la recuperación de los productos proteicos de los genes que fueron transferidos y una creciente interdependencia entre los organismos al generar un *mecanismo*⁶⁷ de transmisión de los simbioses a la descendencia (Roeland *et al.*, 2004, p. 95) Aunque los aspectos moleculares y genéticos que se involucran en la simbiogénesis no se tienen plenamente identificados.

Se han explicado de forma breve las fuentes de variación que postulan tanto la teoría sintética como la simbiogénética, se ha generado controversia en este punto en cuanto al protagonismo

⁶⁷En la literatura especializada el término mecanismo es empleado constantemente, las que suscriben esta investigación encuentran que es un término desafortunado para explicar los fenómenos evolutivos porque el proceso evolutivo no es un conjunto de teorías que trabajen mecánicamente con un objetivo.

que tiene la mutación en la evolución de las especies, al respecto Margulis y Sagan (2003) señalan :

La principal diferencia entre nuestro punto de vista y la doctrina oficial neodarwinista actual trata de la importancia de la mutación aleatoria en la evolución. Opinamos que la trascendencia de la mutación aleatoria como fuente de variación hereditaria está siendo enormemente exagerada” (Margulis y Sagan, 2003, p. 35).

La visión común es que la vida evoluciona a través de la mutación genética al azar, pero estos investigadores no están de acuerdo con dicha aseveración (Abdalla, 2008, p.22), se reconoce que los cambios en la base de ADN sin duda son importantes en el proceso evolutivo, pero se menciona que siendo tan sólo una pequeña parte de la saga evolutiva ha estado siendo dogmáticamente sobrevalorada, mientras que la innovación evolutiva correspondiente a la unión simbiótica de los organismos ha sido ignorada (Margulis y Sagan, 2003, p.40).

En síntesis, los modelos sintético y de endosimbiosis seriada presentan diferencias notorias en cuanto a las fuentes de variación, pero no se puede ignorar ni menospreciar la importancia de la variación, independiente de cómo se origine dentro del proceso evolutivo de las especies. En este sentido resulta difícil establecer mayor o menor importancia en las fuentes de variación que cada uno explica, pues la mutación, la transferencia horizontal de genes y la endosimbiosis en particular son relevantes en la evolución tanto de organismos procariontes como eucariontes.

2.3.4 Lucha por la existencia: competencia y cooperación.

Se explicó con anterioridad que la lucha por la existencia se presenta porque los recursos necesarios para que los individuos sobrevivan son escasos en la naturaleza (Hernández *et al.*, 2009, p.109). Este concepto de lucha se ha interpretado como una pelea cuerpo a cuerpo, pero en realidad en este se engloban todas las relaciones positivas y negativas entre los seres vivos y entre éstos y el ambiente físico. Se trata de un concepto plenamente ecológico que incluye el impacto de todas las relaciones posibles como: competencia intra e interespecífica depredación, parasitismo, acción del clima, etc, sobre la eficacia biológica (Ruiz y Ayala, 2002, p. 57). En este sentido, el término lucha se entiende como el hecho de que el potencial biótico no se alcanza, pues sólo pocos organismos producen descendencia que seguirá produciendo descendencia fértil (Margulis y Sagan, 2003, p. 43).

Por efecto de esta lucha se puede generar competencia, que generalmente se presenta como el motor que impulsa el desarrollo de las especies, pues el proceso de selección natural no sólo ocurre influenciado por la relación con el ambiente físico, sino también con individuos de su misma especie y depredadores (Abdalla, 2009, p. 5).

Darwin señalaba que todas las relaciones antes mencionadas son importantes en especial las bióticas, es decir la competencia interespecífica (en especial entre especies del mismo género o variedades de la misma especie) y la competencia intraespecífica, se sabe que hasta la lucha de las plantas contra la sequía es un tipo de competencia (Ruiz y Ayala, 2002, p.57).

La competencia⁶⁸ se presenta de forma inevitable en relación con la lucha pero también existen relaciones de cooperación que son innegables, por ejemplo en los humanos se presentan relaciones simbióticas innegables como: la presencia de ácaros en las pestañas y de bacterias en axilas e intestinos. Estas relaciones son de asociación (Margulis y Sagan, 2003, p.44).

Existen múltiples ejemplos que muestran la veracidad de la importancia de la cooperación, por ejemplo las termitas de la especie *Reticulitermes speratus* cuentan con protozoarios que se alimentan de la madera que ingieren estas termitas, si no existieran sería imposible que se digirieran los restos de madera, se ha observado que los protozoos obtienen alimento directo y al mismo tiempo brindan de alimento a las termitas (Martínez y Ramírez, 2011, p.55) una muestra más de cooperación.

El concepto de lucha predispone que los individuos compitan entre ellos y el ambiente, pero también incluye relaciones de simbiosis como el parasitismo o la cooperación. Se pone de relieve la importancia de estos dos procesos para que se pueda alcanzar el éxito reproductivo diferencial. También se sabe que depende de factores ecológicos como la relación de los organismos con el espacio para establecer relación de competencia o cooperativas.

⁶⁸Para Margulis y Sagan los términos *competencia* y *cooperación* son palabras inadecuadas para que se describan fenómenos biológicos o evolutivo debido a que no engloban las complejas interacciones que se dan entre los seres vivos, en la competición se involucra un acuerdo previo de manera análoga a las reglas, pero en el mundo natural dichas *reglas* que se basan en la química y las características del medio cambian de acuerdo con los jugadores, por ejemplo para que se compita en equipos opuestos las personas tienen que cooperar en cierta medida. Es en este sentido que los términos mencionados presentan un significado científico limitado (Margulis y Sagan, 2003, p. 41).

2.3.5 El efecto de la selección natural en las relaciones simbióticas

La selección natural explica cómo se desarrollan los caracteres adaptativos de los organismos a través del tiempo, pero la relación de este proceso con el modelo simbiogénético también ha presentado especulación. En este sentido las comunidades simbióticas también son objeto de selección natural

Lynn Margulis en entrevista con Xavier Pujol Gebellí, menciona que desde que Kozo-Polansky explicaba que la innovación evolutiva se genera por simbiogénesis no rechazaba las ideas en principio darwinianas, al contrario añadía que las asociaciones se seleccionaban por selección natural, es decir, estas dos teorías se necesitan en ese sentido (Pujol, 2009, p.28). Es relevante recordar que por el proceso de selección se mantienen las variaciones benéficas en las poblaciones a través del tiempo, la simbiogénesis da lugar a variaciones que se pueden seleccionar.

Se han presentado debates entre distintos autores (Sampedro, 2002; Ryan, 2006; Abdalla, 2009; Chávez, 2012). Sobre la relevancia de la selección natural en los procesos endosimbióticos. En la visión darwinista se sostiene que los individuos adquieren nuevas funciones por la acumulación lenta de pequeños pasos (variaciones) que surgen de forma azarosa respecto del valor selectivo que puedan tener y se fijan en la población por selección natural gracias a que aportan una pequeña ventaja en relación a la situación que se tenía con anterioridad. (Sampedro, 2002 p. 41). En cambio el modelo endosimbiótico sostiene que la célula eucariota se formó, por la suma constructiva de tres o más bacterias distintas en un proceso basado en la simbiosis (Sampedro, 2002 p. 35).

La simbiogénesis genera novedad evolutiva que contribuye a la formación de especies nuevas como los líquenes, pero si estas variaciones no se fijan y mantienen en las poblaciones por selección natural través de las generaciones, no se podrían observar en el ambiente actual de manera cotidiana.

Es bien conocido que Margulis no rechaza el papel de la selección natural, que es el núcleo central de la teoría en principio darwiniana, piensa que posee una validez incuestionable al preservar a los organismos que se encuentren bien acoplados a su entorno (Abdalla, 2009, p.22).

En este sentido, el modelo simbiogénético no contradice al darwiniano es claro que la selección natural no crea la simbiosis *de novo*, pero si actúa sobre esta una vez que se ha establecido. Es

reconocido que la transición evolutiva de las bacterias a la célula eucariota es un paso primordial para que se comprenda la historia de la vida. (Ryan, 2006, p.657).

Actualmente, se discute la simbiosis como un proceso relevante para que se comprenda la evolución y se destaca la importancia de las asociaciones simbióticas en la generación de la variación, que son objeto de selección natural (Bonfante, Visick y Chikuma, 2010, p.475). Se pone de relieve la articulación que se presenta entre la simbiogénesis y la selección natural para explicar el origen de la célula nucleada y posteriormente el papel de esta explicación en el cambio evolutivo en las especies.

2.3.6 Árboles y redes filogenéticas

En la última década se desarrollaron nuevos conocimientos que sin duda enriquecieron y modificaron la visión darwinista que regularmente se presenta en la idea pictórica del árbol de la vida que se ramifica gradualmente a partir de un grupo común mediante el proceso de variación y selección natural (Noguera y Ruiz, 2010, p.28).

En el árbol filogenético que se presenta generalmente, la adquisición de genomas heredables se conoce como anastomosis o fusión de ramas. Margulis y Sagan (2003) explican que la fusión de linajes evolutivos, es en ocasiones descrita como una alternativa al darwinismo clásico. Sin embargo exponen que la adquisición simbiogénica de nuevos rasgos por medio de la herencia de genomas es una extensión, un refinamiento y una amplificación de la idea darwiniana (Margulis y Sagan, 2003, p.40).

La propuesta de Margulis genera una modificación en la imagen de la historia de la vida pues se evidencia que en algunos puntos de la historia ocurren relaciones que corrompen los linajes (ramas) de la historia de la vida. En este sentido con los años se ha cuestionado la representación del *árbol de la vida* y se ha pensado en la propuesta de la *red de la vida*. La aceptación de esta innovadora representación del cambio evolutivo donde la historia de la vida es una red se explica por la transferencia horizontal de genes; un fenómeno común en el universo microbiano y viral, que además de ser más común de lo que se suponía dentro de los organismos pluricelulares, no se contradice con la idea de los patrones de ramificación (Noguera y Ruiz, 2010, p.29).

Entonces el proceso evolutivo se puede explicar a través de una red de conceptos, que ejemplifica cómo los organismos se encuentran ligados por procesos de simbiogénesis lo que

amplifica la visión que se tiene sobre los fenómenos de la vida y la pluralidad explicativa que existe en Biología evolutiva.

En la primera parte de esta tesis se esbozó el marco teórico referente a la Biología evolutiva en relación con dos teorías imprescindibles, primero el MEVSN que explica el proceso de adaptación de las especies y segundo el MES que describe el origen de la variación biológica, particularmente en microorganismos.

A partir de la comparación y el análisis de ambos modelos se han establecido las diferencias entre ambas para mostrar cómo estas no se sobreponen, ni intentan explicar los mismos fenómenos evolutivos, al contrario estos modelos amplían el conocimiento biológico en lo referente a los proceso evolutivos, A continuación se muestra un cuadro comparativo que resume las diferencias entre los dos modelos analizados.

	<i>MEVSN</i>	<i>MES</i>
<i>¿Qué fenómeno evolutivo explica?</i>	La adaptación	Variación por simbiogénesis
<i>¿Cuál es el objeto de estudio⁶⁹?</i>	Las poblaciones	Las comunidades
<i>¿Cuál es la fuente de variación?</i>	Recombinación genética y mutación	Simbiogénesis
<i>¿Qué relaciones se establecen durante la lucha por la supervivencia?</i>	Competencia	Cooperación
<i>¿Cómo se representan las relaciones filogenéticas?</i>	Árboles	Redes

Tabla 4. Síntesis de las diferencias entre el MEVSN y el MES

⁶⁹ Como se explico durante el tercer capítulo el objeto de estudio del MEVSN son los organismos que se encuentran en poblaciones, sin el pensamiento poblacional es imposible apreciar el efecto de la SN en las especies. A diferencia del MEVSN en el MES el objeto de estudio son los microorganismos, éstos al establecer relaciones simbióticas con organismos de diferentes taxas se consideran comunidades según el pensamieto de Margulis.

Tabla 1. Cuadro comparativo entre las principales diferencias entre el MEVSN y el MES como resultado del análisis del tercer capítulo de esta tesis,

Esta tesis mantiene que si se relacionan estos modelos se muestra una imagen del conocimiento científico en construcción y la pluralidad teórica de la biología evolutiva.

Se han analizados los contenidos de Biología evolutiva que sirven de referencia para esta tesis, es importante resaltar que dentro de los objetivos de esta investigación también se encuentra argumentar la importancia de que estos modelos se enseñen a nivel medio superior. Para poder argumentar la relevancia de que se enseñen estos contenidos se parte del análisis de la trascendencia de la enseñanza de las ciencias por lo que el siguiente capítulo se centra en el sentido de educar en ciencias.

CAPÍTULO 3. ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA RELACIONAR LOS MODELOS DE SELECCIÓN NATURAL Y DE ENDOSIMBIOSIS SERIADA

En el capítulo 1 se explicó la importancia de la enseñanza de la ciencia. y en el capítulo 2 se compararon dos modelos científicos para esclarecer los fenómenos evolutivos que cada modelo explica. Con estos referentes teóricos se pretende enfatizar la importancia de la enseñanza de la biología evolutiva,.

Se han analizado los contenidos de dos modelos importantes para la biología evolutiva: el modelo sintético y la endosimbiosis seriada. A continuación se propone una estrategia didáctica que contribuya en la enseñanza y aprendizaje de estas dos teorías evolutivas en EMS

3.1 DIDÁCTICA DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA

La investigación didáctica en BE proporciona herramientas para la mejor enseñanza de esta disciplina porque es compleja y su enseñanza no es trivial. Existen estudios donde se muestran las dificultades de asimilación y construcción en los estudiantes, se necesita atención pedagógica dada la importancia del tema; las estrategias didácticas constituye una aplicación concreta como una herramienta favorable a promover el desarrollo del pensamiento abstracto en diversas modalidades y niveles (Campos y Cortés, 2005, p.169).

Esta disciplina se debe considerar parte del contenido de las asignaturas de ciencias naturales, e incluso recuperar sus postulados fundamentales en otra asignaturas de interés en la formación pre-universitaria para que se generen cambios en la enseñanza y en la propia estructura curricular (Campos y Cortés, 2005, p.169).

En el caso de la biología evolutiva, debido al estado de ampliación y revisión que está atravesando la síntesis evolutiva es pertinente preguntarse qué modelos confirman la teoría a enseñar para luego poder reflexionar sobre cuales merecen ser incorporados en la educación general (Folguera y Galli, 2012,p.6). La introducción de otros contenidos (como los *nuevos* modelos evolutivos⁷⁰) en la enseñanza de la biología evolutiva es deseable para ampliar el rango de fenómenos comprensibles y la complejidad de las explicaciones (González y Meinardi, 2013, p. 229). Dicha ampliación permite a los estudiantes identificar los debates que tienen

⁷⁰Los modelos que se mencionan por González y Meinardi (2013) son: equilibrios puntuados, endosimbiosis seriada, neutralismo, evo-devo y herencia epigenética principalmente.

lugar dentro de la biología evolutiva, y al mismo tiempo les da herramientas para comprender que estos debates no ponen en duda el hecho de la evolución (Folguera y Galli, 2012, p.13).

En relación con la inclusión de modelos diferentes al MEVSN en la enseñanza, se conoce que la biología evolutiva que se enseña en las escuelas es producto de un proceso de transposición didáctica enfocado a la TSE. De los modelos evolutivos mencionados, sólo algunos han atravesado por procesos de transposición⁷¹. En este sentido Folguera y Galli (2012) mencionan:

[...] Así, en caso de que consideráramos que los nuevos modelos merecen ser enseñados, deberíamos enfrentar el problema de la ausencia de un adecuado proceso de transposición didáctica, es decir, la falta de versiones de estos nuevos modelos accesibles para el profesorado [...] (Folguera y Galli , 2012, p.14).

Los trabajos de transposición didáctica en relación al MES se encuentran en una etapa temprana. En este sentido, Chávez (2012) identifica dos razones por las que los procesos de transposición para la enseñanza y el aprendizaje de esta teoría son importantes.

1.- La perspectiva histórica – epistemológica que se percibe en este modelo es valioso para comprender, enseñar y aprender acerca de un fenómeno (en este caso una fuente de variación).

2.- Por qué las explicaciones sobre el origen de la célula eucariota se han mostrado como desafiantes en relación con la teoría sintética (Chávez, 2012, p. 77). Por lo que es deseable aclarar estos fenómenos para reducir la confusión entre el alumnado de Educación Media Superior.

Se ha señalado la importancia de ampliar y relacionar los contenidos de biología evolutiva en Educación Media Superior. A continuación se explica la importancia y dificultad en los procesos de enseñanza y de aprendizaje de la BE, en particular el relacionar modelos evolutivos.

⁷¹ Folguera y Galli (2012) mencionan que en Argentina el modelo de equilibrios puntuados y el modelo de endosimbiosis seriada son los que han atravesado por procesos de transposición didáctica, junto con el MEVSN.

3.2 LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA

La enseñanza del proceso evolutivo empleando en este caso la relación entre el MEVSN y el MES , tiene como finalidad que los estudiantes identifiquen el papel de la simbiogénesis como fuente de variación dentro del proceso evolutivo de la célula eucariota así como la relación que existe entre la simbiogénesis y la SN.

Se espera que al aprender temas de esta índole (de carácter científico) los estudiantes, puedan desarrollar su propio criterio y apliquen el conocimiento científico para tomar decisiones informadas, resolver problemas y aplicar tecnologías para mejorar la calidad de vida individual y social.

3.3 PROBLEMAS EN LA ENSEÑANZA Y EN EL APRENDIZAJE DE LA BIOLOGÍA EVOLUTIVA

A pesar de la importancia de la BE para la medicina, la ingeniería en alimentos, la ingeniería ambiental y la población en general, la enseñanza de los principales principios evolutivos presenta numerosos obstáculos⁷², que constituyen un problema para el aprendizaje de una ciencia como la biología. En este sentido González – Galli (2010) menciona que

[...] los resultados de la educación obligatoria en relación con esta teoría⁷³ están lejos de ser los deseados. En muchos países del mundo se ha documentado el bajo nivel de aprendizaje en relación con la teoría de la evolución y la presencia y persistencia postinstruccional de numerosas concepciones erróneas sobre este tema (González, 2010, p.226).

Actualmente se realizan investigaciones para elaborar estrategias educativas que puedan proporcionar una solución a las dificultades relacionadas con el proceso de enseñanza y aprendizaje de la biología evolutiva. En esta sección se identificaran los principales problemas en relación con éste proceso.

⁷²Se pueden distinguir al menos tres tipos de obstáculos: epistemológicos, psicológicos y didácticos. Esta investigación hace referencia a los de tipo epistemológico, este obstáculo se define por Bachelard como “*el efecto limitativo de una serie de conceptos sobre el desarrollo del pensamiento*” (González- Galli, 2011, p.178). hace referencia al conocimiento a adquirir. Un ejemplo de este tipo de obstáculo en el MEVSN se presenta cuando hay que comprender que no hay una relación causal entre la variación y la adaptación, (Meinardi, 2010,p.146).

⁷³ Se refiere a la teoría sintética de la evolución, en particular a lo referente con la selección natural.

En primera instancia, la enseñanza de biología evolutiva en diversos países se dificulta por los conflictos que podría presentar entre las concepciones religiosas de cada región, al no explicar la evolución de las especies por medios divinos.

Esta polémica se presenta con regularidad en los sistemas educativos, por ejemplo en Estados Unidos se ha documentado una polarización respecto a los tópicos de biología evolutiva que deben ser enseñados, debido a que existen profesores que exponen exclusivamente tópicos creacionistas, dejando de lado la biología evolutiva, aunque también se encuentran profesores que explican evolución biológica o combinan ambas perspectivas, esta situación se ve reflejada en el pensamiento de los estudiantes, que no saben que corriente de pensamiento es la correcta o indicada (Long, 2012, p.123)

A pesar de los obstáculos en los sistemas educativos por los conflictos ideológicos, la enseñanza de los modelos evolutivos es compleja por razones de diferente índole, en particular la enseñanza y el aprendizaje de la teoría de evolución por variación y selección es complicado, pero de suma relevancia, el trabajo de Thagard y Findlay (2009) explica que el MEVSN es fundamental para entender el proceso evolutivo de las especies por las siguientes razones:

- 1.-El modelo expone como la selección actúa sobre la variación y esto explica la adaptación de las especies al ambiente en que viven
- 2.- Permite apreciar cómo la selección natural ha producido diversos cambios evolutivos, como la resistencia a los antibióticos por parte de las bacterias o de los insectos a los pesticidas
- 3.- Las evidencias que respaldan el modelo se pueden emplear para explicar la forma en que actúa la SN (Thagard y Findlay, 2009, p.13).

Aunque es clara la importancia del aprendizaje del modelo sintético de la evolución, existen complicaciones al enseñar este modelo, los obstáculos en el proceso de enseñanza se han sido identificados por Hernández, Alvarez y Ruiz (2009), como los siguientes:

- 1.- La falta de énfasis en el papel de la variación, siendo este quizá el aspecto más tangible de la teoría evolutiva,
- 2.- El proceso de selección es una inferencia, a diferencia de la variación ésta implica mayor abstracción.

3.- La falta de ubicación espacio-temporal, al explicar la relación con el tiempo geológico

4.- No es claro el papel del azar dentro del proceso evolutivo,

5.- La falta de relación entre los conceptos de tiempo, espacio, variación, adaptación y selección (Hernández. *et al.*, 2009 p.114).

A parte de los obstáculos explicados durante la enseñanza y aprendizaje del MEVSN, también se presenta la falta de relación entre los diferentes modelos evolutivos, vale la pena recordar que la biología evolutiva se entiende como una familia de modelos (MEVSN, MES, EVO-DEVO, etc) que explican diferentes aspectos del proceso evolutivo como la variación, la adaptación o la diversidad por ejemplo.

Se reconoce que los estudiantes aprenden solo un número reducido de modelos evolutivos, por lo que el aprendizaje al principio puede parecer sencillo pero si se avanza en los temas e intentan relacionar su aprendizaje será más complicado, este es un aspecto prioritario durante la elección y secuenciación de los fenómenos evolutivos que deberían enseñarse para enriquecer los modelos teóricos en la educación. (González, Adúriz- Bravo y Meinardi, 2005. p. 2).

De manera general, se han mencionado las principales dificultades que presenta la enseñanza de la biología evolutiva, en particular el MEVSN. En Estados Unidos y México también se han identificado problemas durante la enseñanza y aprendizaje de estos tópicos.

En Estados Unidos de Norteamérica uno de los principales problemas para enseñar biología evolutiva es la fuerte corriente creacionista que existe en ese país. En Latinoamérica, particularmente en México, no hay una problemática de esta índole por el carácter laico de la educación; en escuelas públicas, privadas o de carácter religioso se ha llegado a dar pláticas o conferencias pequeñas sobre el origen de la vida y evolución biológica. (Lazcano, 2005, p. 788). Aunque las corrientes ideológicas no son un obstáculo en la enseñanza, en México es frecuente que la enseñanza de la biología evolutiva no tenga los resultados esperados por factores como los huecos conceptuales durante la formación docente o el tiempo destinado al tema en los planes y programas de estudio (Ruiz *et al.*, 2012, p.81).

En este sentido la inserción de los temas de BE en los planes de estudio no ha sido del todo exitosa, al respecto Ruiz *et al.*, (2012) menciona que:

[...] los temas evolutivos ocupan espacios curriculares restringidos y aislados, tales como un inciso o un capítulo de los programas de estudio en educación básica, una asignatura obligatoria y algunas optativas en la formación de los biólogos, formatos por demás insuficientes para enseñar y aprender una disciplina integradora por excelencia y trascendente desde su origen. Por su parte; los contenidos relacionados con la biología de los organismos comúnmente se presentan sin la historia evolutiva que los explica (Ruiz *et al.*, 2012, p.81).

Una opción para la estructuración de planes de estudio y la enseñanza de los modelos evolutivos es relacionar las teorías y enseñarlas de forma integrativa, actualmente se han reportado diferentes estrategias enfocadas a la enseñanza del modelo sintético y el aprendizaje de sus principales postulados. No obstante, es necesario recordar que la Biología evolutiva involucra no sólo a una teoría, si no a una familia de teorías, por lo que es importante reflexionar sobre la forma en que los modelos evolutivos diferentes al MEVSN se enseñan.

En esta tesis además de trabajar con el MEVSN, se analiza la teoría endosimbiótica y su papel en los planes de estudio de la EMS, con el fin de generar una propuesta didáctica que permita a los alumnos comprender la importancia de los procesos de simbiosis y simbiogénesis en el surgimiento de nuevas especies.

El modelo de endosimbiosis seriada proporciona información fundamental para comprender el desarrollo de los organismos eucariontes, pero la importancia de los procesos de endosimbiosis y simbiogénesis no es reconocido ni enseñado plenamente, incluso se ha identificado que en los institutos y los textos universitarios se enseña una versión diluida del modelo de endosimbiosis seriada, aspecto que lleva a la confusión del alumnado (Margulis, 2002, p.44).

Como alternativa para la enseñanza y el aprendizaje del MEVSN y el MES, se ha elaborado una propuesta didáctica enfocada a la Educación Media Superior que relaciona ambos modelos evolutivos. Con la construcción didáctica lo que se pretende es:

- 1.- Que los alumnos comprendan las diferencias entre ambos modelos, para que identifiquen los diferentes fenómenos que explican y no los enfrenten como en ocasiones se ha hecho.
- 2.- Entiendan la relevancia de la simbiosis como fuente de variación biológica en microorganismos.

3.-Analicen el desarrollo del proceso simbiogénético

4.- Comprendan la relación entre la simbiogénesis y la selección natural.

De esta forma se podrá relacionar ambos modelos evolutivos para facilitar su enseñanza y aprendizaje en los tiempos disponibles en la Educación Media Superior para la exposición de estos modelos.

3.4 PROPUESTA DIDÁCTICA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR EN MÉXICO

En este punto vale la pena recordar que la falta de asociación entre los diferentes modelos evolutivos dificulta la comprensión del proceso evolutivo, el modelo de evolución por variación y selección natural se avala por la comunidad científica y es la teoría que por lo general se enseña en los diferentes grados escolares, en cambio el modelo de endosimbiosis seriada con frecuencia se rezaga en lo referente a su enseñanza.

La intención de esta dinámica es relacionar dos modelos imprescindibles para la Biología evolutiva el MEVSN y el MES. Para lograr este propósito se seguirán 3 preguntas rectoras.

¿Qué se realizará?	¿Para qué?	¿Por qué?
Propuesta didáctica para la enseñanza del origen de la célula eucariota a través del modelo de endosimbiosis seriada, donde se explicará su relación con el modelo sintético de la evolución	Para que los alumnos identifiquen qué procesos evolutivos formaron a las células con núcleo según la explicación de la endosimbiosis seriada, y se pueda relacionar con el modelo de evolución por variación y selección natural.	Les brinda a los estudiantes una visión plural de la Biología y les permite comprender su entorno y el impacto de estos procesos en la vida cotidiana, de la sociedad.

Tabla 5. Se explican los objetivos de la propuesta didáctica

El tema se enfoca hacia alumnos de bachillerato, se emplearán recursos visuales para facilitar la exposición del tema. La intención es que se optimice el tiempo de enseñanza porque éste es visiblemente reducido dentro de los planes de estudio. Se pretende que la duración de la didáctica sea de 40 a 60 minutos.

Se espera que los alumnos:

- 1.- Identifiquen los tres procesos de endosimbiosis que dieron origen al nucleocitoplasma, los undulipodios, la mitocondria y los plástidos.
- 2.- Reconozcan a la simbiogénesis como una fuente de variación que puede dar origen también al desarrollo de especies nuevas
- 3.- Perciban la importancia de la simbiosis para la supervivencia de la especie, la especie humana entre éstas.
- 4.- Localicen el papel que tiene la selección natural dentro del modelo endosimbiótico seriado

ACTIVIDAD 1: EL MUNDO SIMBIÓTICO

Objetivo: Qué los alumnos identifiquen las relaciones simbióticas que existen en las especies, y la relevancia de estos procesos para la vida.

Materiales: Diapositivas, lecturas, imágenes, cronómetro, plumones.

Tiempo: 20 a 30 minutos.

a). Definición del concepto de simbiosis (duración 10 minutos)

El profesor expondrá brevemente la definición de simbiosis y un ejemplo de ésta. La definición que se expone se basa en la propuesta por Margulis y Sagan en *Captando Genomas*.

Asociación fisiológica prolongada entre dos o más organismos de diferentes especies.

Se recomienda emplear una presentación con diapositivas para explicar la definición y definir brevemente los tipos de simbiosis que existen. Se puede emplear un esquema como el siguiente para exponer sobre los tipos de simbiosis.

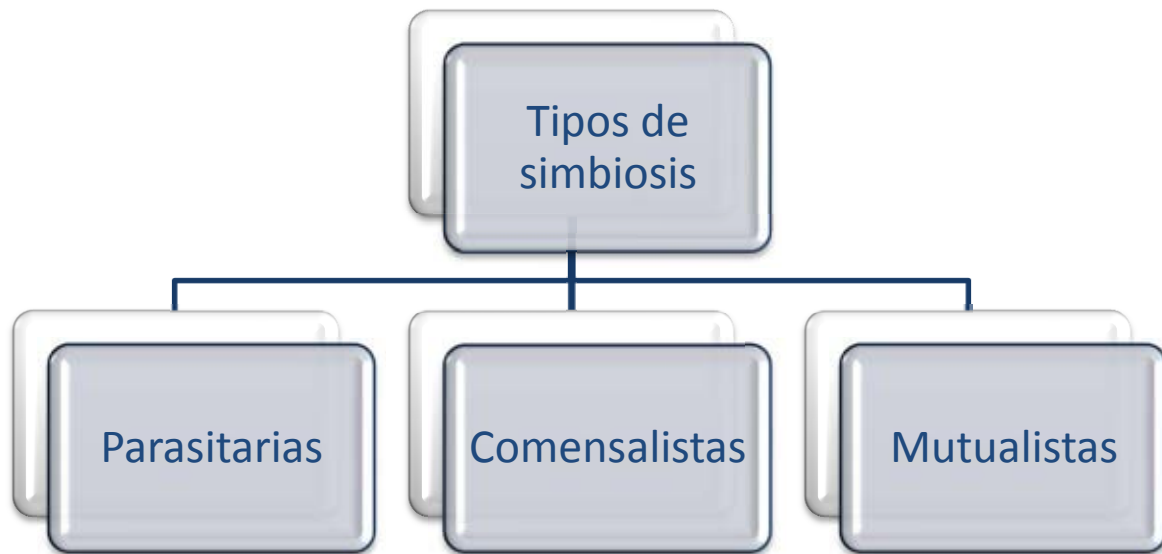


Ilustración 3 Esquema que muestra las distintas clases de simbiosis.

Es deseable que cada categoría se defina de manera breve y concisa con un esquema como el que se muestra:



Ilustración 4 Descripción de los tipos de simbiosis.

La relación simbiótica que se expone es el caso de la anémona *Calliactis parasítica* y el cangrejo ermitaño *Dardanus calidus*.



**El crustáceo
*Dardanus calidus***



**La anémona
*Calliactis parasítica***

Ilustración 5 Ejemplo de la relación simbiótica entre el crustáceo (*Dardanus calidus*) y la anémona (*Calliactis parasítica*).

Estos dos organismos de diferentes especies establecen una relación simbiótica indispensable para su supervivencia; el crustáceo lleva a cuestas, en su caparazón a la anémona. Las ventajas de esta asociación son:

1. La anémona cuenta con células urticantes que brinda protección al cuerpo del crustáceo al protegerlo de otras especies
2. El crustáceo proporciona a la anémona de movilidad al llevarla a cuestas, por lo que la anemona obtiene alimento más fácilmente

Para cerrar la exposición es deseable que se pregunte a los estudiantes de manera grupal:

a). ¿Qué tipo de simbiosis se establece? ¿Por qué?.

b). A parte de las ventajas mencionadas de la simbiosis ¿Qué ventaja tienen los simbioses sobre las demás especies del fondo marino?

Las respuestas esperadas por parte de los alumnos son:

a). Mutualista, porque ambas especies se benefician

b). Tienen mayor probabilidad de sobrevivir y dejar descendencia para que las poblaciones de ambas especies continúen desarrollándose.

La pregunta B se orienta a mostrar como las relaciones simbióticas permiten a los simbioses tener una ventaja selectiva frente a otras especies, de esta manera se pueden reproducir y dejar descendencia fértil.

Es posible que la respuesta que se obtenga de la pregunta B no sea la que se planteó anteriormente, de ser el caso, se recomienda que el profesor explique a los alumnos la respuesta correcta para que ellos la contemplen durante las siguientes actividades. Esto es relevante porque se intenta ejemplificar como los procesos simbióticos determinan en cierta medida el éxito reproductivo de las especies. .

b). Casos de simbiosis en un ambiente natural (20 minutos)

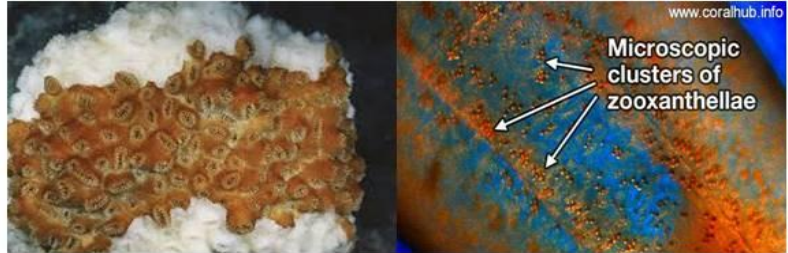
La intención de la siguiente actividad es que los alumnos analicen un ejemplo de simbiosis, se requiere que los alumnos formen tres equipos (el número de integrantes depende del número de alumnos en el curso).

A cada equipo se le proporcionara la siguiente lectura que explica la simbiosis entre los pólipos del arrecife del coral y las zoxantellas. En base a la siguiente lectura, los estudiantes resolverán una serie de cuestionamientos.



Los arrecifes de coral son animales marinos formados por colonias de organismos llamados pólipos. Habitan en aguas tropicales, cerca de la costa. Por lo que reciben los rayos del sol. Cuando la turbidez o la temperatura del agua aumentan, los corales sufren un proceso de blanqueamiento, Los arrecifes establecen una relación simbiótica con unas algas microscópicas llamadas zooxantelas que viven dentro de los tejidos de los pólipos.

Las zooxantelas realizan procesos fotosintéticos y no habitan en zonas con temperaturas altas y aguas claras, la coloración de los corales es resultado de la presencia de las zooxantelas.



Durante la simbiosis los dos simbioses se ven beneficiados: una especie recibe protección y la otra alimento.

En base a la descripción, resuelva en equipo las siguientes preguntas:

- 1.- Qué tipo de asociación simbiótica se establece?
- 2.- Cuál especie se beneficia al obtener alimento
- 3.- ¿Cuál especie recibe protección?
- 4.- ¿Creen que el blanqueamiento de los corales tenga que ver con la simbiosis? Si / no ¿por qué?
- 5.- ¿Qué factores ambientales pueden afectar la simbiosis en estas especies?

Ilustración 6 Actividad de aprendizaje que ejemplifica la relación simbiótica entre los corales y las zooxantelas

Para resolver las preguntas, los equipos cuentan con 10 minutos máximo, si requieren ayuda el profesor puede aclarar dudas puntuales.

Cuando hayan terminado el cuestionario, el profesor empezara una revisión grupal de las respuestas de los equipos. De esta forma todo el grupo podrá comparar las diferentes respuestas que se obtuvieron y desarrollar conclusiones sobre el tema.

En orden del uno al cinco las respuestas que se esperan obtener son:

- 1) Mutualista, por que las dos especies se benefician de la asociación.
- 2) Los pólipos que forman el arrecife del coral, las zoxantellas realizan fotosíntesis, el coral se alimenta de los productos que resultan de éste proceso.
- 3) Las zoxantellas, ya que los protege la estructura calcárea del coral de ser depredados por otros organismos.

- 4) Si por que el color de los corales es resultado de la simbiosis con las zoxantellas, si estas se pierden el color también.
- 5) La temperatura y la turbidez del agua por que las zoxantellas necesitan de condiciones ambientales especificas para sobrevivir.

Para concluir la actividad el profesor puede mencionar brevemente que incluso los seres humanos somos seres simbióticos; se sabe que los humanos como otras especies tenemos en el estómago bacterias (flora intestinal) que permiten la digestión adecuada de los alimentos, sin estas bacterias no se podrían adquirir los nutrientes que el cuerpo necesita.

Como actividad complementaria se recomienda dejar a los estudiantes una breve investigación sobre otros ejemplos de simbiosis en la naturaleza.

ACTIVIDAD 2: ¿QUÉ ES LA SIMBIOGÉNESIS?

Objetivo: Qué los alumnos identifiquen a la simbiogénesis como una fuente de variación, y que comprendan la relevancia de ésta para el desarrollo de especies como los líquenes.

Materiales: Diapositivas, lecturas, imágenes, cronómetro, plumones.

Tiempo: 30 a 50 minutos.

a). Definición del concepto de simbiosis (duración 15 minutos)

- 1.- El profesor explicará brevemente el concepto de simbiogénesis⁷⁴, como se hizo en la actividad anterior, usando como principal guía el siguiente texto.

⁷⁴ Los conceptos se han expuesto con anterioridad en el capítulo 2 son los que se utilizan en ésta actividad. Se recomienda emplearlos como guía y revisar la literatura citada para más información sobre el tema.

La simbiogénesis es una fuente de variación resultado de las simbiosis que se establecen por largos periodos de tiempo, en este proceso es vital el intercambio genético y la herencia de los conjuntos de genes que se adquieren a partir de las simbiosis.

Al ser la simbiogénesis una fuente de variación, puede proporcionar a las poblaciones (principalmente de microorganismos) características que podrían facilitar su supervivencia y reproducción.

Si el efecto de la variación contribuye a la supervivencia de la especie, la selección natural la mantiene en el ambiente y permite que se herede.

Es importante que se resalte que la simbiosis es una interacción ecológica que puede dar origen a la simbiogénesis: una fuente de variación relevante para el proceso evolutivo de las especies.

Para que los contenidos de la exposición queden claros a los estudiantes, es pertinente que los alumnos elaboren un cuadro comparativo entre la simbiosis y las simbiogénesis como el siguiente:

Simbiosis	Simbiogénesis
<ul style="list-style-type: none">- Es la asociación entre diferentes especies- Existen tres tipos: Parasitarias, Mutualistas, Comensalistas.- Son importantes para entender la interacción entre las especies	<ul style="list-style-type: none">- Asociación simbiótica a largo plazo, que involucra forzosamente el intercambio genético- Es una fuente de variación evolutiva- Se inicia a partir de una simbiosis

Tabla 6. Ejemplo de cuadro comparativo entre los conceptos de simbiosis y simbiogénesis.

b). Los líquenes como resultado de la simbiogénesis (20 minutos).

La intención de la siguiente actividad es que los alumnos comprendan el proceso de simbiogénesis, empleando como principal guía el análisis de los líquenes.

Es posible que los alumnos no conozcan sobre los líquenes, por esa razón se les pasara una presentación elaborada con el procesador de presentaciones Power Point que permita a los alumnos formar una idea previa sobre esta especie.

Todo el contenido referente a los líquenes se mostrará en la presentación (como si fuera un video), ésta es sumamente breve, el profesor igual que los alumnos será un espectador y no intervendrá (a menos que se requiera). La estructura de la presentación⁷⁵ es la siguiente:



Ilustración 7 Diapositiva que explica que son los líquenes.

⁷⁵ La presentación se basa en la información del capítulo dos sobre líquenes y en el artículo de divulgación *Los Líquenes* de Beatriz Coutiño y Ana Luisa Montañez del 2000.



Lobario pulmonaria

Los simbioses se benefician de esta asociación por que:

- 1).- El algo o cianobacteria son protegidos por el hongo
- 2). El hongo se alimenta de los productos fotosintéticos que producen los fotobiontes.

Ilustración 8 Diapositiva que describe la simbiosis de los líquenes

Si se separa y cultiva el simbionte fotosintético, la formación de azúcar se detiene ya que las células de estos organismos se comunican metabólicamente

Estos organismos no pueden vivir en condiciones de

- 1). Mucha o poca luz
- 2). Demasiada humedad o sequedad



Lacidea atrobrunnea

Ilustración 9 Diapositiva que describe la integración de los simbioses que forman los líquenes.

Al terminar la presentación, el profesor guiara una discusión sobre el caso de los Líquenes. A continuación se propone un esquema de preguntas y respuestas esperadas. La intención es que los alumnos analicen y expresen las ideas que han generado sobre los conceptos mostrados.

PREGUNTA GENERADORA	RESPUESTAS ESPERADAS
¿Qué es un líquen?	Es un organismo que se forma por la simbiosis a largo plazo entre un hongo con una cianobacteria o un alga.
¿Por qué creen que se encuentren tan ligados los simbiosites, a tal grado que no puede vivir uno sin el otro?	<p>Por que se encuentran ligados metabólicamente; el micobionte no puede sobrevivir sin los productos que produce el fotobionte por fotosíntesis y éste no puede realizar sus funciones sin la protección del hongo.</p> <p>Los líquenes han formado una simbiosis a largo plazo que da pie a la simbiogénesis, entonces los dos simbiosites han intercambiado material genética, lo que hace que estén aun más compenetrados.</p>
¿Por qué creen que los líquenes son importantes?	<p>Estos organismos son importantes para varios procesos vitales:</p> <p>1).- Existen especies que fijan el nitrógeno al suelo, este nitrógeno es importante para el crecimiento de los árboles y flores por ejemplo.</p> <p>2).- Realizan procesos fotosintéticos.</p>

Tabla 7. Esquema de preguntas generadoras sobre la simbiosis usando de ejemplo el caso de los Líquenes

El ejemplo de los líquenes muestra un caso de simbiogénesis y se espera que los alumnos identifiquen los procesos de simbiosis y simbiogénesis en la naturaleza.

c).- ¿Cómo evolucionaron los líquenes? (15 minutos)

Se ha explicado el concepto de variación por simbiogénesis, la intención de la siguiente actividad es que los alumnos relación esta fuente de innovación biológica con la selección natural.

Los alumnos formaran de tres a cuatro equipos para realizar una síntesis de media cuartilla que explique brevemente el desarrollo de los líquenes, empleando las siguientes preguntas guía:

- 1.- ¿Por qué los líquenes permiten entender los procesos simbióticos?
- 2.- ¿Cómo es que se originó el proceso simbiogénético en los líquenes?
- 3.- ¿Por qué la variación por simbiogénesis permaneció en las poblaciones a tal grado que dio origen a los líquenes?

ACTIVIDAD 3: EL ORIGEN SIMBIÓTICO DE LOS EUKARIOTES

Objetivo: Qué los alumnos comprendan el origen de las células eucariotas por procesos de simbiogénesis y selección natural.

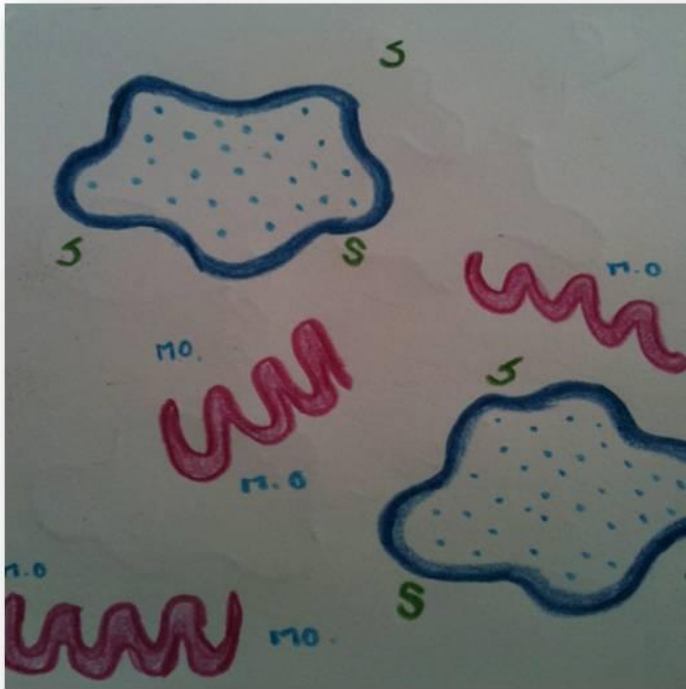
Materiales: Diapositivas, lecturas, imágenes, cronómetro, plumones, pizarrón.

Tiempo: 30 a 40 minutos

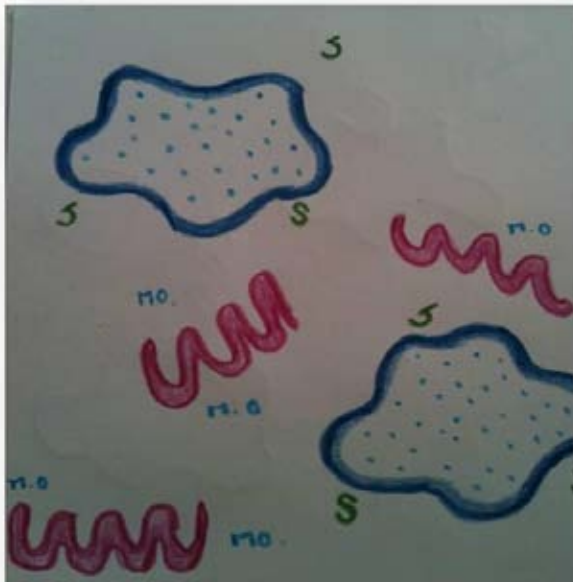
En las dos actividades anteriores se explicaron dos procesos fundamentales: la simbiosis y la simbiogénesis. Estos conceptos son importantes para entender las interacciones entre las especies, pero también exponen una teoría relevante para entender el origen de los organismos eucariotes

a). El origen de la célula (25 minutos)

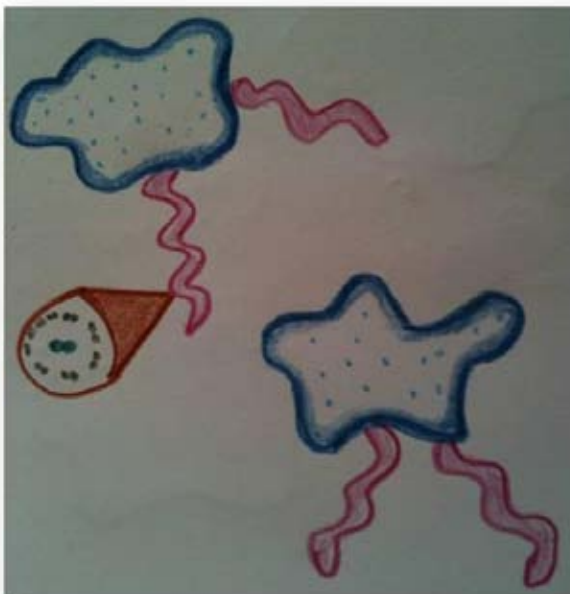
El profesor proporcionara a los alumnos de forma individual una lectura que explica a través de esquemas el origen de las células con núcleo. Cabe mencionar que las imágenes que se presentan sólo muestran una representación de los organismos implicados en la simbiosis, no quiere decir, que en un ambiente natural, estos organismos tengan la forma que se muestra en los esquemas.



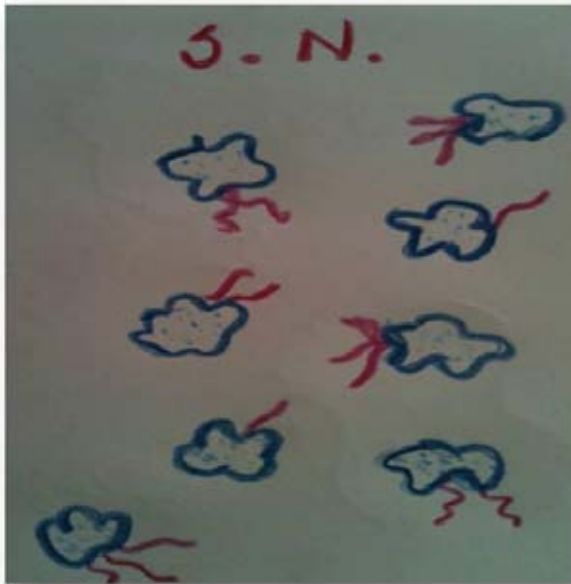
1). En la Tierra primitiva, la atmósfera era reductora, los organismos anaerobios tomaban directamente del ambiente los nutrientes para realizar los procesos celulares cotidianos



2). En este paso, las condiciones de la Tierra primitiva no son las mismas, hubo transformaciones en la atmósfera de la Tierra, que pasó de ser reductora a oxidante. Los nutrientes que los microorganismos tomaban de forma natural se redujeron drásticamente y comenzaron a agotarse por la alta demanda que existía.



3). El cambio en el ambiente ejerció una presión selectiva sobre los organismos. En busca de alimento una arqueobacteria parecida a *Thermoplasma* ingirió una espiroqueta que no logró digerir. De esta forma se estableció una relación parasitaria que con el paso de las generaciones se volvió de cooperación; *Thermoplasma* se pudo desplazar por las espiroquetas y éstas obtenían alimento fácilmente, formaron al nucleotiplasma y los undulipodios



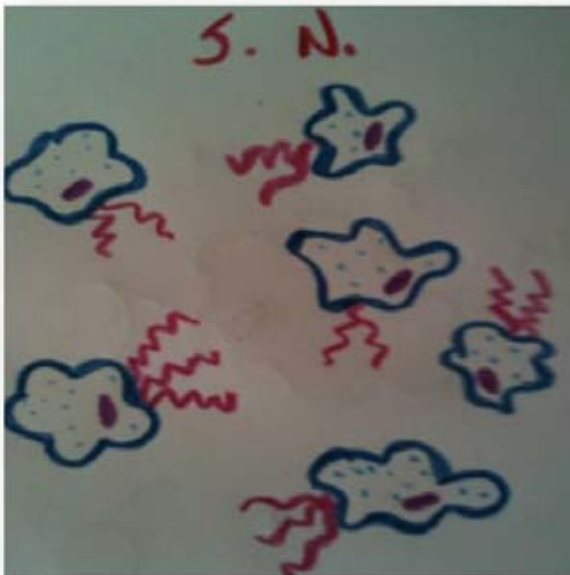
4). El nucleocitoplasma y los undulipodios se formaron por simbiogenesis. Como ésta variación fue beneficiosa, la selección natural la mantuvo a través de las generaciones, las poblaciones de estos organismos aumentaron conforme pasaba el tiempo y la atmósfera seguía transformándose.



5). La atmósfera seguía cambiando y las concentraciones de oxígeno comenzaron a aumentar. Mientras el organismo simbiote anaerobio se desplazaba en busca de alimento y de un lugar con bajas concentraciones de oxígeno



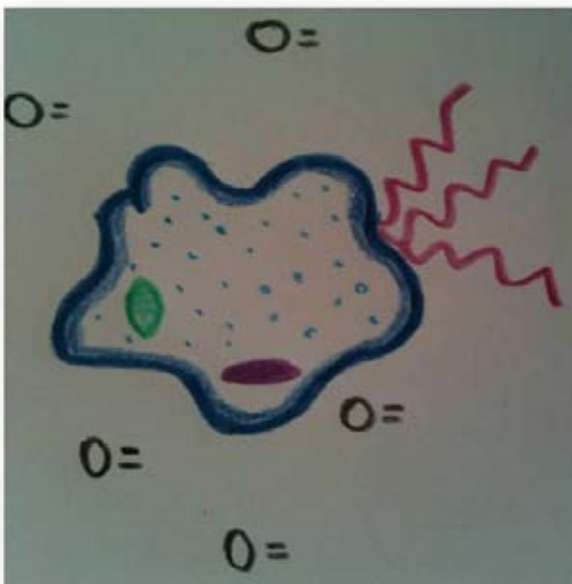
6). Como resultado de la búsqueda de alimento el simbiote ingirió un organismo aerobio que no pudo digerir. Se estableció otra simbiosis en el simbiote que le permitió emplear el oxígeno. De este paso se derivó la mitocondria.



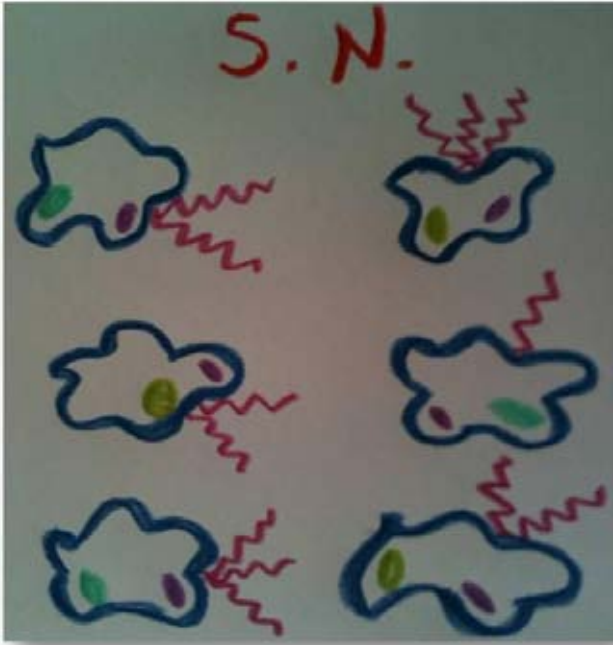
7). De nueva cuenta la variación que se produjo fue benéfica para el organismo, la selección natural conservó y preservó esta variación en la población. De esta manera el organismo se formó por tres simbioses en lugar de dos.



8). En la atmósfera continuo aumentando la concentración de oxígeno y la diversidad de organismos, principalmente aeróbicos. En busca de alimento nuevamente el simbiote ingirió un tipo de cianobacteria primitiva que tenía la capacidad de realizar fotosíntesis, está tampoco pudo ser digerida y se formó una nueva simbiosis.



9). La composición de la atmósfera se estabilizo y el organismo simbiote quedo conformado por 4 organismos (aunque la integración de las cianobacterias que serian plástidos no es indispensable para todas las células). La simbiogénesis como fuente de variación permitió el surgimiento de características que resultaron favorables para el simbiote.



10). La última adquisición simbiótica resultó ser benéfica para el organismo también, por lo que, la selección natural la hizo perdurar. En la actualidad, los eucariontes cuentan con: nucleocitoplasma, undulipodios, mitocondrias y plástidos. Es importante resaltar el papel del azar en éstos procesos. El surgimiento de la simbiogénesis no fue azaroso por que inició con los procesos de simbiosis , que la selección natura favoreciera está variación tampoco fue azaroso; la selección natural mantiene las variaciones benéficas (tiene dirección, mas no intención) es azaroso que la variación resulte ser adaptativa en un tiempo y espacio determinados.

En base a la lectura los alumnos resolverán las siguientes preguntas en equipos (4 equipos de preferencia).

- 1.- Menciona que estructuras celulares se desarrollaron en los tres pasos endosimbióticos que contribuyeron al desarrollo de las células eucariontes
- 2.- ¿Cuáles eran las características de la Tierra primitiva en los tres pasos endosimbióticos?
- 3.- ¿Qué factores favorecieron el establecimiento de las simbiosis en los organismos? Describir a detalle
- 4.- ¿Cómo intervino la selección natural durante el proceso de simbiogénesis?

Al final se llevara a cabo un análisis grupal de las respuestas a las preguntas.

b). Actividad complementaria (15 minutos)

Como actividad complementaria para finalizar las actividades, se recomienda a los alumnos dibujen las cuatro estructuras celulares que se desarrollaron por simbiogénesis: nucleocitoplasma, espiroquetas, mitocondrias y plástidos. Los alumnos deben describir la importancia del orgánulo que estén dibujando.

Al término de las tres actividades el profesor evaluará a los estudiantes tomando en cuenta: la participación en clase, los trabajos elaborados (cuestionarios) y una autoevaluación por parte de los estudiantes a través de un cuadro C.Q.A.

También se elaboró un diseño docente que sintetiza los objetivos, contenidos y estrategias que contiene la propuesta didáctica **(ANEXO 2)**.

La didáctica pone de relieve procesos como la simbiogénesis, que con frecuencia no suelen ser explicados en las aulas de EMS, pero que son importantes para comprender una fuente de novedad biológica diferente a la mutación o recombinación genética y su relación con la selección natural.

La propuesta se puede aplicar en la EMS, es necesario que los alumnos cuenten con conocimientos previos sobre el MEVSN para que los puedan relacionar con mayor facilidad. Este tipo de investigaciones son importantes para impulsar la enseñanza de la Biología y de las ciencias que tienen un impacto importante para el desarrollo de la sociedad.

4. CONCLUSIONES

La enseñanza de estos temas en EMS es relevante para propiciar el pensamiento evolutivo de los estudiantes, se pretende que a largo plazo puedan resolver y tomar decisiones responsables en cuestiones como: el consumo de productos transgénicos o la conservación de especies, por mencionar algunos.

En esta tesis, se relacionan dos modelos de BE: el MEVSN y el MES, con el propósito de generar una propuesta didáctica que sea útil para la EMS. La enseñanza de estos temas permite que se genere un cambio en la visión de las relaciones evolutivas, las redes filogenéticas e incluso evidencia la estrecha relación que los organismos tienen con los procesos de simbiosis. De manera particular la enseñanza de estos temas pone de relieve:

1).- La trascendencia teórica de la Biología evolutiva, muestra la pluralidad de esta disciplina y permite ampliar las nociones de los temas evolutivos.

2).- Los diferentes fenómenos evolutivos que se explican a través del MEVSN y el MES

Se explicó que el MEVSN es el único modelo evolutivo capaz de explicar el proceso de adaptación. En este sentido, cuando se generan las variaciones, éstas no presentan un carácter adaptativo, el proceso adaptativo se desarrolla tras un complejo proceso de interacciones entre el ambiente y las características de las poblaciones; las variaciones son adaptativas si le confieren a los organismos ventajas para sobrevivir y reproducirse en un determinado tiempo y espacio.

Las variaciones que son objeto de selección natural y que por ende podrían conllevar a un proceso adaptativo, se generan por diversos procesos. Para la TSE (que se aplica generalmente en organismos eucariontes) las principales fuentes de variación son la mutación y la recombinación genética mientras que los organismos procariontes emplean la transferencia horizontal de genes. De manera particular, en microorganismos la transferencia horizontal de genes y la simbiogénesis son imprescindibles para la recombinación genética.

Además de las fuentes de variación que se mencionan, es importante tomar en cuenta a la simbiogénesis, una fuente de innovación evolutiva importante que permite percibir la importancia de los procesos simbióticos para la vida.

A pesar de la importancia de los procesos simbióticos que impulsan el proceso simbiogénético, existe polémica en torno a la relación que hay entre el MES y el MEVSN, esto sucede cuando no se identifica que fenómeno evolutivo explica cada modelo.

Al ser la simbiogénesis una fuente de variación puede ser objeto de selección natural, en el caso del origen de la célula la variación por simbiogénesis permitió que se establecieran las asociaciones simbióticas entre bacterias que luchaban por sobrevivir en un ambiente extremadamente cambiante como el de la Tierra primitiva.

En este sentido, la simbiogénesis generó la variación que permitió el desarrollo del nucleocitoplasma, los endulipodios, la mitocondria y los plástidos pero es fundamental mencionar que la selección natural permitió que esta variación se heredara y permaneciera en las poblaciones.

La propuesta didáctica que se presenta permite que los alumnos distingan la existencia de diferentes fuentes de variación y la relación que mantiene con la selección natural sin importar su origen. También deja en claro que estos modelos no son alternativos, como se puede llegar a presentar, por que explican procesos diferentes.

En relación con la construcción didáctica, es importante que se trabaje en el diseño de estrategias didácticas que enlacen diferentes modelos evolutivos, porque puede permitir que los estudiantes perciban a la ciencia como una disciplina en construcción continua y no como un proceso finalista y estático.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdalla, M. (2006). La crisis latente del darwinismo. *Revista asclepio*, LVIII.1, 1-37.
- Acevedo, D. J. A., Vázquez, A. Á. y Manassero, M. M. A. (2003). Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*. 2 (2), 80-111.
- Aguilar, H. E. (2004). Mi experiencia profesional como Biólogo docente en una escuela privada del Nivel Medio Superior (Preparatoria). Tesis que para obtener el título de Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Iztacala; UNAM. México.
- Bolaños, M.V.H. (1995). *Didáctica integral y para la Educación Media Superior y Superior*. México: Editorial Porrúa.
- Bonfante, P., Visick, K. y Chikuma, M. (2010). Symbiosis. *Environmental Microbiology Reports*. 2(4), 75–478.
- Bowler, J.P. (2010). Charles Darwin: El hombre y sus mitos. *Ciencias*. 97, 4-17.
- Bowler, J.P. (1995). *Charles Darwin, El hombre y su influencia*. (Trad. Eloy Rada García.). Madrid: Alianza Editorial S.A. (Original en inglés, 1990).
- Campos, H. M. A. y Cortés, R.L. (2005). El abordaje de conocimiento abstracto de estudiantes pre-universitarios en el caso del tema de evolución biológica. *Paradigma*. 26: 169-200. Recuperado el 12 de febrero del 2014, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S101122512005000100008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt
- Caponi, G. (2010). El adaptacionismo como corolario de la teoría de la selección natural. *Éndoxa: Series filosóficas*. 24, 123-142.
- Carrascosa, J., Gil, P.D. y Valdés, P. (2005). *¿Cómo hacer posible el aprendizaje significativo de conceptos y teorías?*. En Gil, P.D., Macedo, D., Martínez, T.J., et al. (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años. (15- 28)*. Chile: Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe OREALC/UNESCO.

Castro, N. L. (2008). La evolución y el mundo educativo. *Revista de la Sociedad Española de Biología Evolutiva*. 3 (1), 55-58.

Chávez, M. J. (2012). ¿Es la endosimbiosis seriada una alternativa a la teoría sintética de la evolución?, Implicaciones Epistemológicas y Didácticas. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*. 5 (9), 67-79.

Coll, C. et al. (2007). *El constructivismo en el aula*. (17ª eds). Barcelona: Grao.

Contreras, D.J. (1994). *Enseñanza, currículum y profesorado: Introducción crítica a la didáctica*. (2 ed). España: Ediciones Akal. Recuperado el 15 de noviembre del 2014, de http://www.dirsuperior.mendoza.edu.ar/concursojerarquiadirectiva/U5_002.pdf

Culotta, E. y Pennisi, E. (2005). Evolution in action. *Science*. 310, 1878-1879.

Darwin, C. (2001). *El origen de las especies*. México: Editores Mexicanos Unidos, S.A. (Original en inglés, 1859)

De la Torre, M. (1993). *Didáctica*. Argentina: Editorial Génesis.

Díaz, A. F. (2002). *Didáctica y currículo: un enfoque constructivista*. Ediciones de la Universidad de Castilla: España.

Diccionario de las ciencias de la educación. (1983) *Publicaciones Diagonal Santillana para profesores*, Madrid: Ed.Santillana..

Dobzhansky, T. (1973), Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*. 35 (3), 125-129.

Duve, C. (2004). *La vida en evolución: Moléculas, mente y significado*. (Trad. Joandoménech Ros.). España: Crítica. (Original en inglés, 2002).

Elejalde, F. M. M. (1999). Un punto de vista sobre el carácter activo del sujeto de aprendizaje. *Revista Cubana de Psicología*. 16 (3). 1-13. Recuperado el 10 de noviembre del 2014, de <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/rcp/v16n3/10.pdf>

Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades. (2014). *Programas de estudio de Biología I a V*. Recuperado el 25 de octubre del 2014. de http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/plan_estudio/mapa_biologia.pdf

Esparza, S. (2009). Los senderos de Darwin. *Revista digital universitaria*. 10 (6),1-13. Recuperado el 12 de marzo del 2013, de <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num6/art33/int33.html>

Fernández, I., Gil, P.D., Valdés, P. y Vilches, A. (2005). *¿Qué visiones de la ciencia y la actividad científica tenemos y transmitimos? La superación de las visiones deformadas de la ciencia y la tecnología: Un requisito esencial para la renovación de la educación científica*. En Gil, P.D., Macedo, D., Martínez, T.J., et al. (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. (29 – 62). Chile: Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe OREALC/UNESCO.

Folguera, G. y Galli, L. (2012). La extensión de la síntesis evolutiva y los alcances sobre la enseñanza de la teoría de la evolución. *Bío-grafía: Escritos sobre la Biología y la Enseñanza*. 5 (9), 4-18.

Fontúrbel, R. F. y Molina, A.C. (2004). Origen del agua y del oxígeno molecular en la tierra: Efecto sobre la biodiversidad. *Elementos, ciencia y cultura*. 53, 3-9.

Futuyma, D.J. (1998). *Evolutionary biology*. (3^{ra} ed.).USA: Sinauer Associates, Inc.

Gallardo, M.H. (2011). *Evolución. El curso de la vida*. Argentina: Editorial médica panamericana.

Gil, P. D., Sifredo, C., Valdés, P. y Vilches, A. (2005). *¿Cuál es la importancia de la educación científica en la sociedad actual?*. En Gil, P.D., Macedo, D., Martínez, T.J., et al. (Eds.), *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta didáctica fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. (15- 28).Chile: Oficina Regional de Educación de la UNESCO para América Latina y el Caribe OREALC/UNESCO.

González, G. J., Galindo, M. E.N. y Álvarez, P. E. (2001). *La Biología Integral; Implicaciones en la enseñanza y la planeación educativa*, En Rivera, T.M.C., Eisenberg, W.R., Contreras, G. O y Landesmann, M. (comp.). Investigación educativa. México: UNAM-FESI.

González, G. L. M. (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. Tesis que para obtener el título de doctor. Facultad de Ciencias exactas y naturales. Argentina.

González, G. L. y Meinardi, E. (2013) ¿Está en crisis el darwinismo? Los nuevos modelos de biología evolutiva y sus implicaciones didácticas. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*. 27, 219 – 234.

González, G.L., 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*. 7,1-6.

González-Galli, L. (2010). *La teoría de la evolución*. En E. Meinardi (Ed.), *Educación en ciencias*. (pp. 15-38). Argentina: Editorial Paidós.

González-Halphen, D., Pérez-Martínez, X., Funes, S., Reyes-Prieto, A. y Santillán-Torres, J.L. (2003). La migración de genes de la mitocondria al núcleo y la evolución de los genomas mitocondriales. *Mensaje bioquímico*. 27, 201- 220.

González-Soto, A. (1989): *Didáctica y Organización escolar*. Proyecto docente. Material policopiado.

Gould, S.J. (2004). *La estructura de la Teoría de la evolución*. (Trad. Ambrosio García Leal.). Barcelona: Tusquets Editores. (Original en inglés, 2002).

Gould, S.J. y Lloyd, E. (1999). Individuality and adaptation across levels of selection: How shall we name and generalize the unit of Darwinism. *PNSA*. 96 (21), 11904-11909.

Guerrero, R. (2002). La simbiosis como mecanismo de evolución. *Boletín informativo de la sociedad española de microbiología*. 33, 10-14.

Guerrero, R. (2011). Lynn Margulis (1938-2011) in search of the truth. *International Microbiology*. 14, 183-186.

Guzmán, S.J. (2013). Evolución biológica y Biología evolutiva: epistemología y didáctica. Tesis que para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. México.

Hasson, E. (2006). *Evolución y selección natural*. Argentina: Eduba.

Hernández, J. L. E. (2014). Estrategia didáctica para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje de la teoría evolutiva en el bachillerato. Tesis que para obtener el título de maestría en Educación Media Superior. Facultad de Ciencias: UNAM. México.

Hernández, M. V. (2011). Tipos y causas de la variación biológica: un análisis conceptual. Tesis que para obtener el título de biólogo. Facultad de Ciencias: UNAM. México.

Hernández, R. C., Alvarez, P, E. y Ruiz G, R. (2009). La selección natural: aprendizaje de un paradigma. *Teorema*, 28 (2), 107-121.

Hokayem, H. y BouJaude, Saouma. (2008).College students perceptions of the theory of evolution. *Journal of Research in Science teaching*. 45 (4), 395- 419.

Huerta, I.J. (1978). *Organización lógica de las experiencias de aprendizaje*. México: Trillas.

Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. (2011). *La Educación Media Superior en México*. Informe de 2010-2011. México.

Knoll, A.H. (2004). *La vida en un joven planeta: los primeros tres mil millones de años en la tierra* (Trad. Joan Lluís Riera.). España: Crítica. (Original en inglés, 2003).

Lazcano, A. (2005). Teaching Evolution in Mexico: Preaching to the Choir. *Science*. 310, 787-789.

Ledesma-Mateos, I. (2008). Las prácticas médicas y la biología como ciencia: paradigmas, asimilación y domesticación social en México. *História, Ciências, Saúde - Manhuinhos*. 15 (2), 441-449.

Lessa, P.E. (2009). Vigencia del Darwinismo. *Gayana 73 (Suplemento)*.1 (88), 73-84.

Lewens, T. (2010). Natural selection then and now. *Biological reviews*. 85, 829-835.

Long, E.D. (2012).The Politics of Teaching Evolution, Science Education Standards and Being a Creationist. *Journal of research in science teaching*. 49 (1), 122-139.

López, T.A., Moreno, C.R. y Nava, M. E. M. (2010). *Didáctica de la Biología I unidad y continuidad*. México: UNAM -FESI.

López, T.A., Moreno, C.R., Nava, M. M. E. y Urbieta, U. R.B. (2008). *Estilos de aprendizaje y didáctica de la Biología*. México: UNAM-FESI.

Majerus, N. E. M. (1999). Evolución y mantenimiento del melanismo industrial en los Lepidóptera. *Bol. S.E.A.* 26, 637-649.

Majerus, N. E. M. (2009). Industrial melanism in the peppered moth, *Biston betularia*: an excellent teaching example of Darwinian evolution in action. *EvoEdu Outreach*. 2, 63-74.

Margulis, L. (1981). *Symbiosis in cell evolution: Life and its environment on the early earth*. USA: Boston University.

Margulis, L. (1992). La sonrisa del gato: Mitosis y movilidad celular: un mismo origen simbiótico. *Ciencias*. 27, 11-16.

Margulis, L. (1996). *Teoría de la simbiosis: Las células como comunidades microbianas*. En L. Margulis y L. Olendzenski (Eds.). *Evolución ambiental: Efectos del origen y evolución de la vida sobre el planeta Tierra* (pp.157-182). Madrid: Alianza Editorial.

Margulis, L. (2001). *El origen de la célula*. (Trad. Cristina Enriquez de Salamanca.). México: Reverté Ediciones S.A. de C.V.

Margulis, L. (2002). *Planeta Simbiótico. Un nuevo punto de vista sobre la evolución*. (Trad. Victoria Laporta.). Madrid: Editorial Debate. (Original en inglés, 1998).

Margulis L. (2010) Symbiogenesis, A New Principle of Evolution Rediscovery of Boris Mikhaylovich and Kozo - Polyansky (1890–1957). *Paleontological Journal*. 44 (12), 1525- 2539.

Margulis, L. y Sagan, D. (1998). *¿Qué es el sexo?*. (Trad. Ambrosio, Gracia.). Barcelona: Tusquets Editores.

Margulis, L. y Sagan, D. (2001). *Microcosmos: Cuatro mil millones de años evolución, desde nuestros ancestros microbianos*. (Trad.M. Piqueras).(2ª ed.) España: Tusquets Editores (Original en inglés, 1986).

Margulis, L. y Sagan, D. (2003). *Captando genomas, una teoría sobre el origen de las especies*. (Trad. David Sempau.). España: Editorial Kairós. (Original en inglés, 2002).

Margulis, L. y Sagan, D. (2005). *¿Qué es la vida?* (Trad. Ambrosio García.).(2ª ed.) España: Tusquets Editores. (Original en inglés, 1995).

Martínez, M.A. y Ramírez, R. R. (2011). Relaciones dañinas, neutras o positivas: el caso de los microorganismos, los insectos y las plantas. *Elementos*. 84, 53-58.

- Mayr, E. (1992). *Una larga controversia: Darwin y el darwinismo*. (Trad, S. C. Otaola.). Barcelona: Crítica, Grijalbo comercial S.A. (Original en inglés, 1991).
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología: consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica* (Trad. J.M.Lebrón.). Argentina: Katz Editores.
- Medina, R. A. (2002). *Fundamentación*. En Medina, R.A. y Mata, S.F. (Comp.), *Didáctica General*. (1-50). Madrid: Pearson Educación.
- Meinardi, E. (2010). *El sentido de educar en ciencias*. En E. Meinardi (Ed.), *Educación en ciencias*. (pp. 15-38). Argentina: Editorial Paidós.
- Montes, L. J. (2010). Paquete didáctico de Biología evolutiva. Tesis que para obtener el título de maestría en Educación Media Superior. Facultad de Ciencias:UNAM. México.
- Moya, A., Peretó, J., Gil, R. y Latorre, A. (2008). Learning how to live together: genomic insights into prokaryote- animal symbioses. *Nature*. 9, 218-229.
- Navarro, E.R. (2004). El concepto de enseñanza – aprendizaje. Recuperado el 30 de octubre del 2014 de RED Científica. <http://www.redcientifica.com/imprimir/doc200402170600.html>
- Negrete, F. A.J. (2002). *Estrategias para el aprendizaje*. México: Editorial Banca y Comercio.
- Noguera, R. y Ruiz, R. (2010). Dos siglos explicando la evolución. *Ciencias*. 97, 22-30.
- Ochman, H. y Moran, A.N. (2001). Genes lost and genes found: evolution of bacterial pathogenesis and symbioses. *Science*. 209, 1096-1098.
- Olson, M.J. y Blankenship, E.R. (2004). Thinking about the evolution of photosynthesis. *Photosynthesis Research*. 80, 373–386.
- Pelayo, F. (2001). *De la creación a la evolución, Darwin*. España: NIVOLA libros y ediciones S.L.
- Pennisi, E. (2003). Fast friends, sworn enemies. *Science*. 302, 774-775.
- Pozo, J.I. y Crespo, G. M. A. (2006). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Ediciones Morata S.L. (Original en español, 1998).

Pujol, G. X. (2009). La simbiogénesis es la fuente de innovación en la evolución. *SEBBM*. 160, 26-29.

Roeland, C.H., Moya, A. y Latorre, A. (2004). *The evolution of symbiosis in insects*. En Moya, A. y Font, E. (eds.). *Evolution from molecules to ecosystems*. (pp 94-105). USA: Oxford University Press.

Ruiz, G. R., Álvarez, P.E., Noguera S.R. y Esparza S.M.S. (2012). Enseñar y aprender biología evolutiva en el siglo XIX. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*. 5 (9), 80-88.

Ruiz, R. y Ayala, J.F. (2002). *De Darwin al DNA y el origen de la humanidad: la evolución y sus polémicas*. México: Fondo de Cultura Económica.

Ryan, P. F. (2006). Genomic creativity and natural selection: a modern synthesis. *Biological Journal of the Linnean Society*. 88, 655–672.

Sagan, L. (1967). On the origin of mitosing cells. *J Theoret Biol*. 14, 225-274.

Sampedro, J. (2002). *Deconstruyendo a Darwin: los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genómica*. España: Editorial Crítica.

Sapp, J. (2010). Saltational symbioses. *Theory Biosci*. 129, 125-133.

Sapp, J., Carrapico, F. y Zolotonosov, M. (2002). Symbiogenesis: The hidden face of Constantin Merezhkowsky. *Hist. Phil. Life. Sci*. 24, 413-440.

Schaechter, M. (2012). Lynn Margulis (1938-2011). *Science*. 35, 301 -302.

Schunk, D.H. (1997). *Teorías del aprendizaje (2ª ed)*. México: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.

Smith, U. M. (2010). Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Science & Education Special Darwinian Anniversary Year Issue*. 19, 3-7.

Tacca, H. D. R. (2010). La enseñanza de las ciencias naturales en la educación básica. *Investigación educativa*. 14 (26), 139-152.

Thagard, P. y Findlay, S. (2009). Getting to Darwin: Obstacles to Accepting Evolution by Natural Selection. *Sci & Edu*. 1-12.

UNESCO. (2006). *Enseñanza de la ciencia y las tecnologías*. Recuperado el 22 de mayo del 2014. de http://www.unesco.org/bpi/pdf/memobpi59_scienceeduc_es.pdf

Vargas, J. A. R. (2010). Diseño de recursos didácticos para la enseñanza del origen y evolución temprana de los sistemas vivos en la educación media superior. Tesis de maestría en docencia para la Educación Media Superior. Facultad de Ciencias:UNAM. México.

Vázquez-Alonso, A. Acevedo- Díaz, J, A. y Manassero, M. M. A. (2005). Más allá de la enseñanza de las ciencias para científicos: hacia una educación científica humanística. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*. 4 (2).

Woolfolk, A. (1992). *Psicología Educativa*. México:Editorial Prentice Hall Latinoamerica

Zabalza, M.A. (1990) *Fundamentación de la Didáctica y del conocimiento didáctico*, en Medina, A y Sevillano, M.. (coord.) *Didáctica Adaptación*. Madrid:UNED.

A N E X O S

6. ANEXOS

6.1 PLANES DE ESTUDIO (ANEXO 1)

COLEGIO DE BACHILLERES PLAN DE ESTUDIOS

ÁREA DE FORMACIÓN BÁSICA																														
Campo de conocimiento	PRIMER SEMESTRE				SEGUNDO SEMESTRE				TERCER SEMESTRE				CUARTO SEMESTRE				QUINTO SEMESTRE				SEXTO SEMESTRE									
	CL	Asignatura	H	C	CL	Asignatura	H	C	CL	Asignatura	H	C	CL	Asignatura	H	C	CL	Asignatura	H	C	CL	Asignatura	H	C						
Lenguaje y Comunicación	701	Inglés I	5	10	702	Inglés II	5	10	703	Inglés III	5	10	704	Inglés IV	5	10	705	Inglés V	5	10	706	Inglés VI	5	10						
	711	TIC I	2	4	712	TIC II	2	4	713	TIC III	2	4	714	TIC IV	2	4	ÁREA DE FORMACIÓN ESPECÍFICA													
	721	TLR I	3	6	722	TLR II	3	6	723	Literatura I	3	6	724	Literatura II	3	6														
Ciencias Experimentales - Naturales	741	Geografía	3	5	732	Física I	3	5	733	Física II	3	5	734	Física III	3	5							744	Ecología	3	5				
					742	Biología I	3	5	743	Biología II	3	5	754	Química I	3	5							755	Química II	3	5	756	Química III	3	5
Matemáticas	761	Matemáticas I	3	6	762	Matemáticas II	3	6	763	Matemáticas III	3	6	764	Matemáticas IV	3	6							765	Matemáticas V	5	10	766	Matemáticas VI	5	10
Ciencias Sociales	771	Historia I	2	4	772	Historia II	2	4	773	Ciencias Sociales I	3	6	774	Ciencias Sociales II	3	6							775	Estructura Socioeconómica de México I	3	6	776	Estructura Socioeconómica de México II	3	6
Desarrollo Humano	781	Filosofía I	2	4	782	Filosofía II	2	4	ÁREA DE FORMACIÓN LABORAL						785	Filosofía III							3	6	786	Filosofía IV	3	6		
	791	Estética I. Apreciación Artística I	2	4	792	Estética II. Apreciación Artística II	2	4																						
	301	Actividades físicas y deportivas I	2	4	302	Actividades físicas y deportivas II	2	4																						

ÁREA DE FORMACIÓN ESPECÍFICA:

El alumno selecciona un dominio profesional (con sus correspondientes dos materias) considerando sus intereses vocacionales.

ÁREA DE FORMACIÓN LABORAL:

Iniciará en el tercer semestre con 5 horas de estudio a la semana, distribuidas de 1 a 2 módulos (3 y 2 hrs, 2 y 4 hrs, ó 5 hrs)

El alumno podrá cursar de 288 a 320 horas de formación independientemente de la(s) Salida(s) Ocupacional(es), asimismo cursará el Módulo Común "Introducción al Trabajo" en el sexto semestre con duración de 3 hrs a la semana, en total 48 hrs.

ÁREA DE FORMACIÓN ESPECÍFICA								
Dominios Profesionales	QUINTO SEMESTRE				SEXTO SEMESTRE			
	CL	Asignatura	H	C	CL	Asignatura	H	C
I.- Físico - Matemáticas	915	Ingeniería Física I	3	6	916	Ingeniería Física II	3	6
	925	Ciencia y Tecnología I	3	6	926	Ciencia y Tecnología II	3	6
II.- Químico - Biológicas	935	Salud Humana I	3	6	936	Salud Humana II	3	6
	945	Ingeniería Química I	3	6	946	Ingeniería Química II	3	6
III.- Económico - Administrativas	955	Administración I	3	6	956	Administración II	3	6
	965	Problemas sociales de nuestro tiempo I	3	6	966	Problemas sociales de nuestro tiempo II	3	6
IV.- Humanidades y Artes	975	Lenguaje y Comunicación I	3	6	976	Lenguaje y Comunicación II	3	6
	985	Cultura mexicana y sociedad del conocimiento I	3	6	986	Cultura mexicana y sociedad del conocimiento II	3	6

**PLAN DE ESTUDIOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE BACHILLERATO (DGB).
INSTITUCIÓN: Centros de Estudio de Bachillerato (CEB)**

BIOLOGÍA I

Bloque	Nombre del Bloque	Tiempo asignado
III	RECONOCES A LA CÉLULA COMO UNIDAD DE LA VIDA	16 horas

Desempeños del estudiante al concluir el bloque

Reconoce a la célula como la unidad fundamental de los seres vivos.
Analiza las características básicas, el origen, la evolución, los procesos y la clasificación de las células.

Objetos de aprendizaje	Competencias a desarrollar
La célula	Elige las fuentes de información más relevantes para establecer la interrelación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente en contextos históricos y sociales específicos.
Teoría Celular	Fundamenta opiniones sobre los impactos de la ciencia y la tecnología en su vida cotidiana, asumiendo consideraciones éticas de sus comportamientos y decisiones.
Teorías de la evolución celular	De manera general o colaborativa, identifica problemas, formula preguntas de carácter científico y plantea las hipótesis necesarias para responderlas.
Tipos celulares: - Procariota - Eucariota	Utiliza las tecnologías de la información y la comunicación para obtener, registrar y sistematizar información para responder a preguntas de carácter científico, consultando fuentes relevantes y/o realizando experimentos pertinentes. Contrasta los resultados obtenidos en una investigación o experimento con hipótesis previas y comunica sus conclusiones aportando puntos de vista con apertura y considerando los de otras personas de manera reflexiva.
Estructura y función de las células procariota y eucariota	Define metas y establece mecanismos básicos para la solución de problemas cotidianos Trabajando en equipo, resuelve problemas para satisfacer necesidades o demostrar principios científicos relativos a las ciencias biológicas. Relaciona los niveles de organización química, biológica y física de los sistemas vivos.

**PLAN DE ESTUDIOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE BACHILLERATO (DGB).
INSTITUCIÓN: Centros de Estudio de Bachillerato (CEB)**

BIOLOGÍA I

recuperando y contrastando las nociones que tiene el alumnado sobre las teorías actuales.	plenaria de los productos obtenidos, aportando sugerencias para la mejora de los mismos.	participación en el debate de opinión.
Coordinar la realización de un debate con el tema "Origen de la vida".	Participar de manera activa en un debate en el que se analice la validez de las diferentes teorías sobre el origen de la vida.	
Exponer a través de imágenes, los diferentes tipos de células procariotas (bacterias) y eucariotas (vegetales, animales, sanguíneas, neuronas, de reserva, etc.) describiendo las características básicas de éstos.	Realizar un cuadro comparativo entre los distintos tipos celulares, enfatizando las características distintivas y discutir sobre la importancia de éstas en el mantenimiento de la biodiversidad.	Guía de observación para autoevaluar la habilidad en el reconocimiento y clasificación de los tipos celulares.
Solicitar una investigación documental sobre los procesos de evolución celular que permitieron el paso de células procariontes a eucariontes (teoría endosimbiótica y de plegamiento de membrana).	Elaborar un reporte por escrito de las teorías de la evolución celular.	Rúbrica para coevaluar: <ul style="list-style-type: none"> - El grado de dominio sobre los tópicos del tema. - Representación de los tipos celulares procariota y eucariota.
Guiar una discusión grupal acerca de los procesos de evolución celular.	Participar en la discusión grupal sobre los procesos de evolución celular.	Lista de cotejo para evaluar el reporte de la investigación.
Coordinar la realización de una actividad experimental que permita observar y señalar las similitudes y diferencias entre las células de diversos organismos (procariontes,	Participar en actividad experimental, elaborando un reporte por escrito.	Lista de cotejo para coevaluar las destrezas asociadas al trabajo experimental.

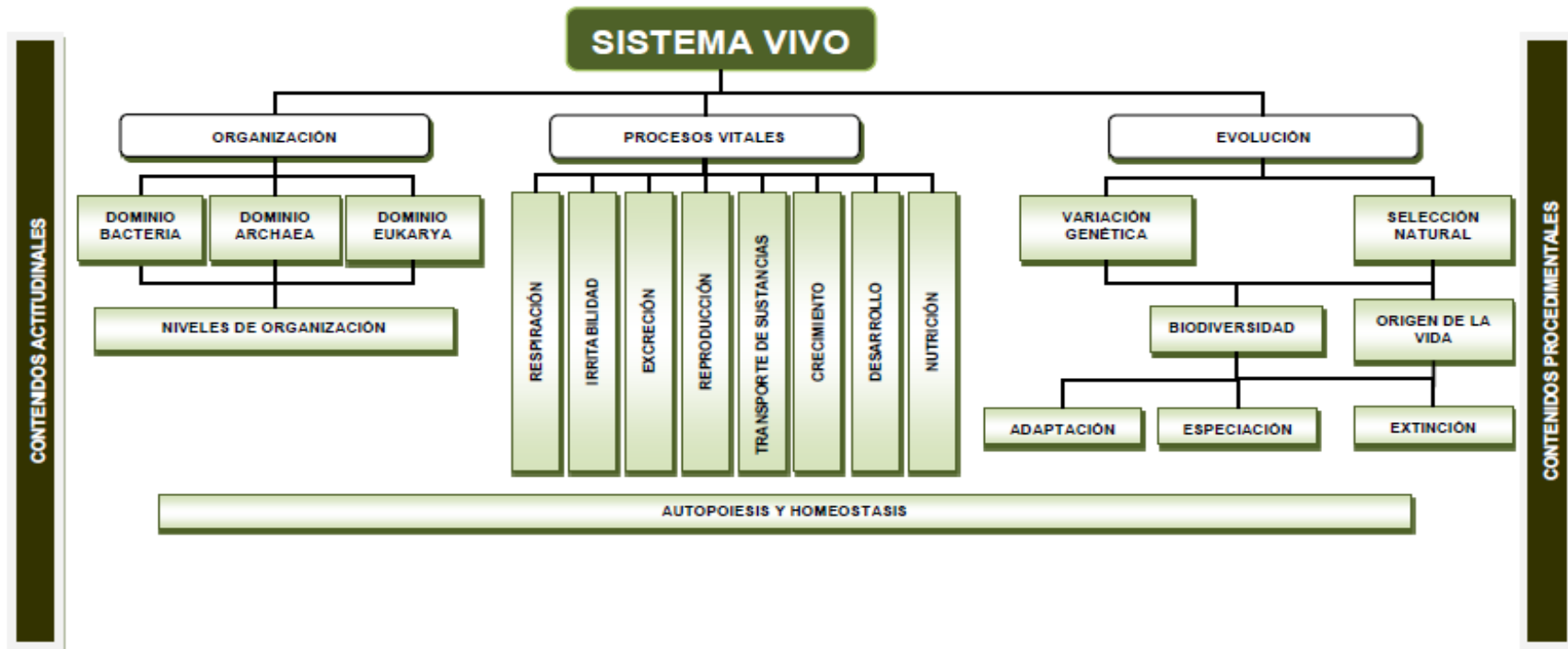
**PLAN DE ESTUDIOS DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL (DGETI)
INSTITUCIÓN: CBTIS Y CETIS**

Biología
Programa de estudios

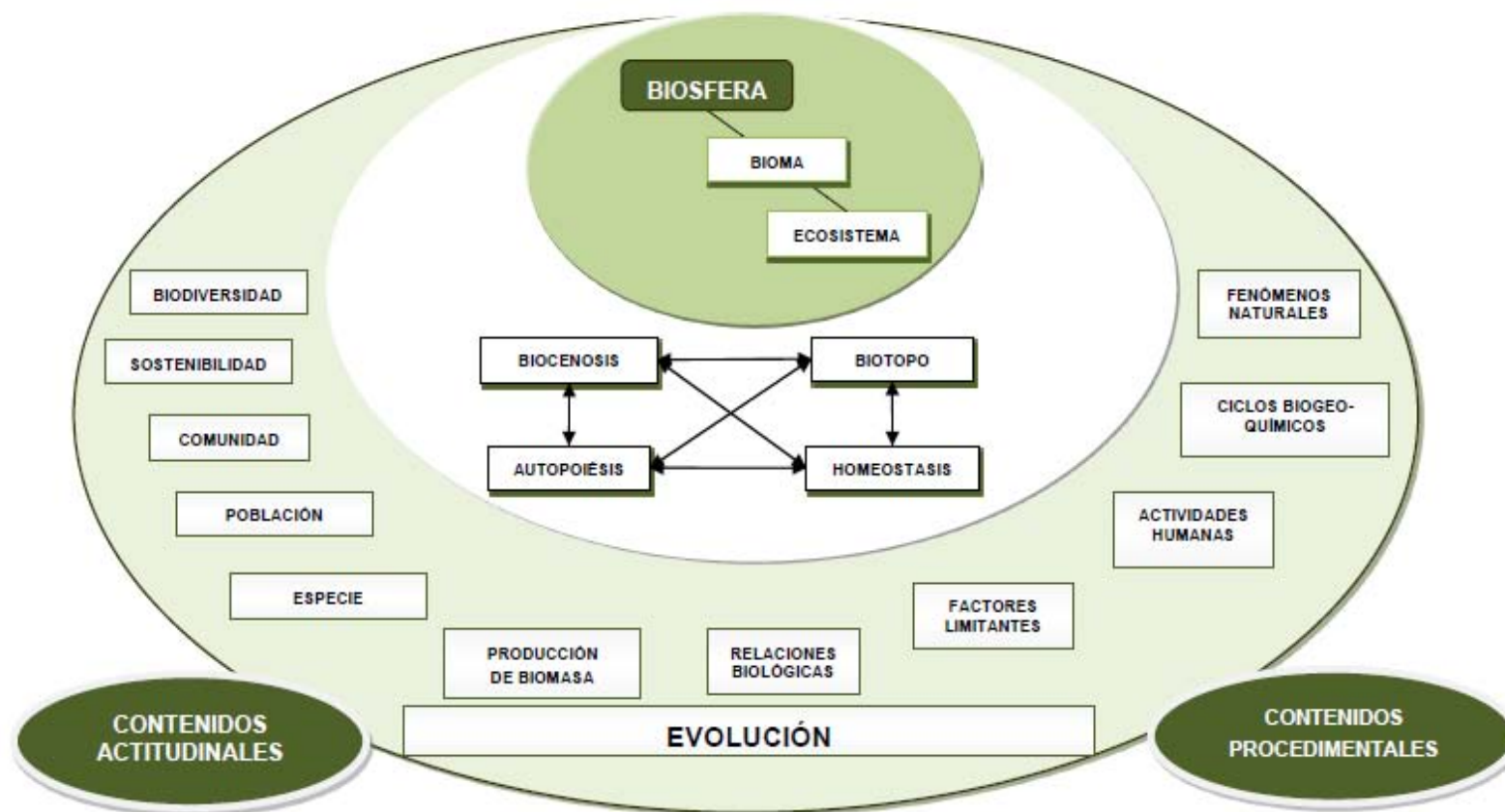
Estructura Curricular del Bachillerato Tecnológico⁷
(Semestres, asignaturas, módulos y horas por semana)

1er. semestre	2o. semestre	3er. semestre	4o. semestre	5o. semestre	6o. semestre
Álgebra 4 horas	Geometría y Trigonometría 4 horas	Geometría Analítica 4 horas	Cálculo Diferencial 4 horas	Cálculo Integral 5 horas	Probabilidad y Estadística 5 horas
Inglés I 3 horas	Inglés II 3 horas	Inglés III 3 horas	Inglés IV 3 horas	Inglés V 5 horas	Temas de Filosofía 5 horas
Química I 4 horas	Química II 4 horas	Biología 4 horas	Física I 4 horas	Física II 4 horas	Asignatura propedéutica* (1-12)** 5 horas
Tecnologías de la Información y la Comunicación 3 horas	Lectura, Expresión Oral y Escrita II 4 horas	Ética 4 horas	Ecología 4 horas	Ciencia, Tecnología, Sociedad y Valores 4 horas	Asignatura propedéutica* (1-12)** 5 horas
Lógica 4 horas	Módulo I 17 horas	Módulo II 17 horas	Módulo III 17 horas	Módulo IV 12 horas	Módulo V 12 horas
Lectura, Expresión Oral y Escrita I 4 horas					

2.3. Estructura conceptual de la asignatura de *Biología*



2.4. Estructura conceptual de la asignatura de *Ecología*



PLAN DE ESTUDIOS DE LA SECRETARIA DE EDUCACIÓN DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO (SE)
INSTITUCIÓN: Preparatorias Oficiales

CUARTO SEMESTRE

- Literatura II
- Inglés I
- Sociología
- Geometría Analítica
- Física II
- Química I
- Biología General
- Análisis de Problemas y Toma de Decisiones
- Orientación Educativa
- Servicio y Asesoría de Cómputo
- Educación para la Salud
- Taller de Inglés
- Salud del Adolescente
- Activación Física

QUINTO SEMESTRE

- Inglés II
- Economía
- Nociones de Derecho positivo Mexicano
- Cálculo Diferencial e Integral
- Química II
- Biología Humana
- Creatividad Aplicada
- Orientación Educativa
- Servicio y Asesoría de Cómputo
- Educación Física
- Educación Artística
- Taller de Inglés
- Salud del Adolescente
- Activación Física

SEXTO SEMESTRE

- Inglés III
- Estructuras Socioeconómicas y Políticas de México
- Estadística
- Física III
- Ecología
- Psicología
- Innovación y Desarrollo Tecnológico
- Orientación Educativa
- Servicio y Asesoría de Cómputo
- Taller de Inglés
- Salud del Adolescente
- Activación Física

PLAN DE ESTUDIOS DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

INSTITUCIÓN: Preparatoria Texcoco

CAMPOS DE FORMACIÓN	SEMESTRE					
	I	II	III	IV	V	VI
MATEMÁTICAS	ÁLGEBRA 5 (7)	ÁLGEBRA Y TRIGONOMETRÍA 5 (7)	GEOMETRÍA ANALÍTICA 5 (7)	CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL 5 (7)	ESTADÍSTICA 3 (4)	
CIENCIAS DE LA NATURALEZA	HOMBRE Y SALUD 5 (7)	QUÍMICA Y ENTORNO 5 (7)	QUÍMICA Y VIDA DIARIA 5 (7) FÍSICA BÁSICA 5 (7)	GEOGRAFÍA, AMBIENTE Y SOCIEDAD 5 (7) FÍSICA GENERAL 5 (7) BIOLOGÍA CELULAR 5 (7)		
CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES	PENSAMIENTO Y RAZONAMIENTO LÓGICO 5 (7) ANTROPOLOGÍA: HOMBRE, CULTURA Y SOCIEDAD 5 (7)	FILOSOFÍA DE LA CIENCIA 5 (7) HISTORIA UNIVERSAL: SIGLOS XX-XXI 5 (7)	ÉTICA Y SOCIEDAD 5 (7) HISTORIA DE MÉXICO: SIGLOS XIX-XXI 5 (7)	MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN 5 (7) MEDIOS Y RECURSOS PARA LA INVESTIGACIÓN 5 (7)	MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN 5 (7) FORMACIÓN CIUDADANA 5 (7)	SOCIOLOGÍA 3 (5)
LENGUAJE Y COMUNICACIÓN	COMUNICACIÓN ORAL Y ESCRITA 5 (7)	ESTRATEGIAS LINGÜÍSTICAS PARA EL ESTUDIO 5 (7)	LECTURA DE TEXTOS INFORMATIVOS Y CIENTÍFICOS 5 (7)	LECTURA DE TEXTOS LITERARIOS 5 (7)	APRECIACIÓN DEL ARTE 5 (7) INGLÉS B2 5 (6)	EXPRESIÓN DEL ARTE 3 (4)
DESARROLLO DEL POTENCIAL	COMPUTACIÓN BÁSICA 5 (6)	INGLÉS A1 5 (6)	INGLÉS A2 5 (6)	INGLÉS B1 5 (6)		
	DESARROLLO DEL POTENCIAL HUMANO 3 (4) ORIENTACIÓN EDUCATIVA 1 (1) CULTURA FÍSICA 1 (1)	DESARROLLO DEL POTENCIAL DE APRENDIZAJE 3 (4) ORIENTACIÓN EDUCATIVA 1 (1) CULTURA FÍSICA 1 (1)	ORIENTACIÓN EDUCATIVA 1 (1) CULTURA FÍSICA 1 (1)	ORIENTACIÓN EDUCATIVA 1 (1) CULTURA FÍSICA 1 (1)	ORIENTACIÓN EDUCATIVA 1 (1)	PSICOLOGÍA 5 (7) ORIENTACIÓN EDUCATIVA 1 (1)
INTEGRACIÓN MULTIDISCIPLINARIA					MÉXICO ANTE EL CONTEXTO INTERNACIONAL 5 (7) CULTURA Y RESPONSABILIDAD AMBIENTAL 5 (7) OPTATIVA 3 (5) OPTATIVA 3 (5)	MÉXICO ANTE EL CONTEXTO INTERNACIONAL 5 (7) CULTURA EMPRENDEDORA 5 (7) OPTATIVA 3 (5) OPTATIVA 3 (5)

MAPA CURRICULAR

PROGRAMA DE BIOLOGÍA II

PRIMERA UNIDAD. ¿CÓMO SE EXPLICA EL ORIGEN, EVOLUCIÓN Y DIVERSIDAD DE LOS SISTEMAS VIVOS?

PROPÓSITO:

- Al finalizar la Unidad el alumno identificará los mecanismos que han favorecido la diversificación de los sistemas vivos, a través del análisis de las teorías que explican su origen y evolución, para que comprenda que la biodiversidad es el resultado del proceso evolutivo.

TIEMPO: 40 horas

APRENDIZAJES	ESTRATEGIAS	TEMÁTICA
<p>El alumno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Explica distintas teorías sobre el origen de los sistemas vivos considerando el contexto social y la etapa histórica en que se formularon. Explica los planteamientos que fundamentan el origen de los sistemas vivos como un proceso de evolución química. Explica el origen de las células eucarióticas como resultado de procesos de endosimbiosis. Explica las teorías evolutivas formuladas por Lamarck y Darwin - Wallace. Valora las aportaciones de Darwin al desarrollo del pensamiento evolutivo. Explica la teoría sintética y reconoce otras aportaciones recientes en el estudio de la evolución de los sistemas vivos. Describe evidencias que fundamentan la evolución de los sistemas vivos. Explica la diversidad de las especies como resultado de los mecanismos evolutivos. Reconoce los niveles en que se manifiesta la biodiversidad. Valora la sistemática en el estudio y conocimiento de la biodiversidad. Reconoce las características generales de los cinco reinos y los tres dominios. Valora la necesidad de conservar la biodiversidad. Aplica habilidades, actitudes y valores al llevar a cabo actividades documentales, experimentales y/o de campo, que contribuyan a la comprensión del origen, evolución y diversidad de los sistemas vivos. Aplica habilidades, actitudes y valores para comunicar de forma oral y escrita la información derivada de las actividades realizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> El profesor detectará los conocimientos previos de los alumnos con respecto al origen, evolución y diversidad de los sistemas vivos. Los alumnos buscarán, analizarán e interpretarán información procedente de distintas fuentes sobre las explicaciones formuladas acerca del origen, evolución y diversidad de los sistemas vivos. Los alumnos en equipo llevarán a cabo experiencias de laboratorio o de campo, que pueden ser propuestas por el profesor y/o por ellos mismos, sobre algunos aspectos de los temas estudiados. Los alumnos en equipo elaborarán informes de sus actividades y los presentarán en forma oral y escrita. Los alumnos construirán modelos y otras representaciones que faciliten la comprensión del origen, evolución y diversidad de los sistemas vivos. El profesor utilizará en clase materiales audiovisuales, ejercicios y juegos didácticos que permitan a los alumnos adquirir, ampliar y aplicar la información sobre los aspectos estudiados. El profesor propondrá al grupo la asistencia a conferencias y la visita a museos, jardines botánicos y zoológicos para reafirmar y ampliar los aprendizajes. El profesor organizará en el grupo debates y mesas redondas para el análisis y discusión de las teorías que explican el origen y la evolución de los sistemas vivos. El profesor y los alumnos evaluarán el logro de los aprendizajes a lo largo de la Unidad. 	<p>Tema I. El origen de los sistemas vivos</p> <ul style="list-style-type: none"> Primeras explicaciones sobre el origen de los sistemas vivos: Controversia generación espontánea / biogénesis. Teoría quimiosintética de Oparin - Haldane. Teoría de Margulis de la endosimbiosis. <p>Tema II. La evolución como proceso que explica la diversidad de los sistemas vivos</p> <ul style="list-style-type: none"> Concepto de evolución. Aportaciones al desarrollo del pensamiento evolutivo: Teoría de Lamarck, teoría de Darwin - Wallace, teoría sintética. Otras aportaciones: neutralismo, equilibrio puntuado. Evidencias de la evolución: Paleontológicas, anatómicas, embriológicas, biogeográficas, bioquímicas, genéticas. Consecuencias de la evolución: Adaptación, extinción, diversidad de especies. <p>Tema III. La diversidad de los sistemas vivos</p> <ul style="list-style-type: none"> Concepto, niveles e importancia de la biodiversidad. Aportaciones de la sistemática al conocimiento de la biodiversidad. Características generales de los cinco reinos y de los tres dominios.

**PLAN DE ESTUDIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUCIÓN: Escuela Nacional Preparatoria (ENP)**

a) Cuarta Unidad: Evolución de los seres vivos.

b) Propósitos:

Que el alumno comprenda la evolución y su relación con la diversidad biológica, para contribuir con ello a desarrollar en él una actitud responsable frente a las formas de vida actuales.

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCION DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDACTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	<p>Introducción a la unidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la evolución y su papel en la diversidad biológica. 	<p>En esta unidad se estudiará a la evolución como mecanismo característico de la vida y principal responsable de la diversidad biológica.</p>	<p>Se sugiere que el grupo, orientado por el profesor, plantee un problema que se resuelva a través de la unidad. Por ejemplo: a) ¿Cómo se explica la sucesión de especies que describe la Paleontología? b) ¿Cómo se explican las adaptaciones al vuelo de las aves? c) ¿Cuáles son las pruebas de la evolución? d) ¿Qué relación existe entre los diferentes tipos ambientales y la diversidad de formas de vida? e) ¿Qué adaptaciones presentan las plantas y animales del desierto?</p>	<p>1,6,7,8,11•</p>
	<p>Evidencias de la evolución:</p> <ul style="list-style-type: none"> • fósiles. • filogenia. • ciencias que aportan pruebas para la evolución: paleontología, anatomía, embriología y genética comparadas. • distribución geográfica de las especies• • adaptación. 	<p>Se estudiarán algunas de las evidencias que permiten la comprobación del proceso evolutivo, incluyendo el análisis de las aportaciones de las diferentes ciencias•</p>	<p>Se proponen prácticas de laboratorio como por ejemplo de: la observación de fósiles, la elaboración de modelos, cultivos de bacterias sometidos a antibióticos o la observación de ejemplares de diferentes grupos relacionados filogenéticamente, para que sirva de punto de partida para el análisis en grupo, con guía del profesor, de la importancia de estas y otras evidencias de la evolución.</p> <p>Se sugiere el estudio de mapas de distribución geográfica de alguna especie en diferentes épocas geológicas para que los alumnos interpreten esta evidencia y la relacionen con los procesos evolutivos. La</p>	<p>1,4,6, 13, 14, 16.</p>

6.2 DISEÑO DOCENTE (ANEXO 2)

DISEÑO DOCENTE

Materia: Biología

Sección sobre el origen de la vida y la evolución biológica

Perfil de egreso: Que los estudiantes de EMS desarrollen un pensamiento evolucionista que les permita comprender la relación e impacto de los procesos evolutivos en la vida cotidiana.				
Objetivos: Que los alumnos identifiquen la variación por simbiogénesis y su relación con la selección natural para que comprendan la importancia de los procesos simbióticos y el desarrollo de la célula eucariota por procesos simbiogenéticos.				
Contenidos	Estrategias			
	Actividades	Recursos	Interacciones	Sistematización ¹
1.-Definición de simbiosis, descripción de los tipos de simbiosis: mutualismo, parasitismo y comensalismo y ejemplos de relaciones simbióticas en la naturaleza.	Exposición sobre la simbiosis (características y ejemplos). Análisis grupal sobre simbiosis Análisis grupal sobre el caso de los arrecifes. Exposición sobre simbiogénesis.	Definiciones específicas Esquemas sobre simbiosis Imágenes Preguntas guía	Trabajo grupal (alumnos-profesor) al aterrizar conceptos de simbiosis y simbiogénesis. Trabajo en equipo (alumno- alumno) al analizar casos de estudio como el de los líquenes. Trabajo individual, al analizar en primer instancia el origen de la célula, de manera independiente.	Todas las actividades se realizan en el salón de clases Son tres actividades c/diferentes actividades, el tiempo se distribuye de la siguiente manera: 1.-El mundo simbiótico (20 a 30 minutos). 2.- ¿Qué es la simbiogénesis? (30 a 50 minutos). 3.- El origen simbiótico de los eucariontes (30 a 40 minutos).
2.-Definición de simbiogénesis, como fuente de variación biológica, diferencias entre simbiosis y simbiogénesis y como caso de estudio los líquenes.	Cuadro comparativo sobre simbiosis y simbiogénesis. Análisis grupal sobre los líquenes empleando preguntas generadoras. Síntesis sobre líquenes- Lectura sobre el origen de la célula eucariota	Lecturas c/ cuestionarios incluidos. Cuadros comparativos Diapositivas de líquenes Preguntas generadoras		
3.-Origen simbiótico de las células eucariontes y relación entre la simbiogénesis con la selección natural.	Cuestionario y análisis grupal Esquematización a través de dibujos sobre el MES.	Esquemas sobre el MES Dibujos		
EVALUACIÓN: Consta de 3 partes: El profesor calificará la participación en clase de los alumnos y la revisión de los trabajos hechos en clase (particularmente los cuestionarios). Los alumnos realizará una autoevaluación a través de un cuadro C.O.A. que el profesor también tomará en cuenta				

Elaborado a partir del siguiente trabajo (aún sin publicar)
Alvarez Pérez Eréndira y Leobardo A. Rosas Chávez, 2010. Cft. García Méndez J. V. 2008. Hacia un modelo pedagógico contemporáneo, proyectos de las comunidades ecosóficas de aprendizaje. Tesis de Doctorado en Pedagogía. Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, 311 p.p.