



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Contribuciones a la enseñanza de la evolución biológica desde la revisión epistemológica de algunos aspectos contemporáneos de la misma

Germán Alberto Chaves Mejía

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Bogotá, Colombia

2012

Contribuciones a la enseñanza de la evolución biológica desde la revisión epistemológica de algunos aspectos contemporáneos de la misma

Germán Alberto Chaves Mejía

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Director:

M Sc. Luis Eugenio Andrade Pérez

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Bogotá, Colombia

2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director: M. Sc. Luis Eugenio Andrade Pérez

Evaluador:

Bogotá D.C. 15 de junio de 2012.

*A mis padres, Carlos, Nelly, mis
hermanos Juan Carlos, Alvaro y José
Humberto y mi compañera Gina Méndez*

Resumen

El presente trabajo es una revisión histórico-epistemológica del concepto de evolución biológica y de las teorías que lo explican, con la particularidad de que esta revisión hace énfasis en algunas teorías que explican la evolución biológica desde una base epistemológica diferente al neodarwinismo. Se revisaron de una manera amplia las teorías de la evolución modular y la endosimbiosis contrastándolas con la posición neodarwinista. Concluyéndose la importancia de lo epistemológico tanto en la construcción del conocimiento como en su enseñanza y aprendizaje.

Esta revisión se hizo con el objeto de desarrollar una propuesta para la enseñanza teniendo como eje didáctico el aprendizaje por indagación en relación con la epistemología. Dicha propuesta se materializó en dos guías que pueden aplicar docentes de biología para la enseñanza de algunos aspectos de la evolución modular y la endosimbiosis, con el objeto de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la evolución biológica, y de la biología en general.

Palabras clave: evolución biológica, epistemología, aprendizaje por indagación, endosimbiosis, evolución modular.

Abstract

This work is a historical-epistemological review of the concept of biological evolution and the theories that explain it, with the particularity, that this review makes emphasis in some theories that account for biological evolution from an epistemological standpoint other than Neo-Darwinism. Theory of modular evolution and endosymbiosis were thoroughly reviewed contrasting them with the neo-Darwinian position. A major conclusion was the importance of epistemology in the construction of knowledge and in its teaching and

learning. The objective of this review is to develop a proposal to teach it using as a didactical guideline inquiry-based learning in relation to epistemology. Such a proposal materialized in two tutorials that can be implemented by biology teachers to teach some aspects of modular evolution and endosymbiosis, aiming at improving teaching and learning of biological evolution, and biology in general.

Keywords: biological evolution, epistemology, inquiry-based learning, endosymbiosis, modular evolution.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de tablas	XII
Introducción	1
1. La evolución biológica: algo más que Darwin y el neodarwinismo	5
1.1 ¿Qué es la evolución biológica?	5
1.2 Reseña histórico-epistemológica referente al concepto evolución biológica.....	6
1.1.1 La Antigüedad.	6
1.1.2 El Medievo	8
1.1.3 La revolución científica	10
1.1.4 Los naturalistas del siglo XVIII al XIX	13
1.1.5 Neodarwinismo y Síntesis Moderna	28
1.1.6 Desafíos a la Síntesis Moderna y el Neodarwinismo	34
2. La didáctica de la evolución biológica desde una visión Contemporánea	45
2.1 La importancia de la enseñanza de la evolución biológica	45
2.1.1 Las teorías contemporáneas sobre la evolución biológica y su enseñanza: el estado actual	46
2.1.2 La Enseñanza de la evolución en el panorama mundial: algunas cifras	48
2.2 La enseñanza de la evolución biológica desde una epistemología contemporánea en el marco didáctico de la indagación	49
2.2.1 Fundamentos teóricos del aprendizaje por indagación y su relación con lo epistemológico.....	49
2.2.2 Una propuesta didáctica para la enseñanza de la evolución biológica: el origen de la célula eucariota y de los metazoos bilaterales.....	51
3. Proyecciones y recomendaciones	53
3.1 Otras teorías contemporáneas que explican la evolución biológica	53
3.2 Seguimiento cualitativo de la aplicación de las guías a estudiantes.....	54
4. Conclusiones	55
A. Anexo: El origen de la célula eucariota y la endosimbiosis seriada.	57
B. Anexo: El origen de los metazoos bilaterales.	63
Bibliografía	69

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. DESACIERTOS DEL LAMARCKISMO A UNA TEORÍA EVOLUTIVA EXPANDIDA (TEA). 23	
Tabla 2. Aportes del lamarckismo a una teoría evolutiva expandida 24	24
Tabla 3. Desaciertos de Darwin a una teoría evolutiva expandida (TEA)..... 28	28
Tabla 4. Aportes de Darwin a una teoría evolutiva expandida (TEA) 28	28
Tabla 5. Paralelo epistemológico entre las teorías evolutivas..... 44	44
Tabla 6. Distribución de publicaciones sobre enseñanza de la evolución biológica en las revistas consultadas por Araujo y Roa (2007). 48	48

Introducción

La evolución biológica –la diversificación de todos los seres vivos a partir de un único ancestro común (o unos pocos)- es una teoría que está ampliamente aceptada por la comunidad científica. Lo anterior está soportado por un sinnúmero de datos y evidencia aportados meticulosamente y sistemáticamente por la comunidad científica a lo largo de los últimos dos siglos. Se podría decir, que prácticamente ninguna persona perteneciente a la comunidad académica y/o científica cuestiona esta teoría, no obstante existen cuestionamientos desde otros ámbitos sociales que muchas veces están basados, o en la ignorancia o, en el fundamentalismo dogmático (Sampedro, 2007). Se podría llenar este apartado de citas dadas por otros eruditos en el tema que concordarían con lo expuesto por el científico, divulgador y periodista español Javier Sampedro, por mencionar algunos de los más destacados, se tiene a Mayr (2006, 1998,1995), Crick (1981), Dawkins (2009,1986), Eldredge (1995), Gould (2002), Ruse (2008).

No obstante lo anterior, la dinámica y los mecanismos de la evolución están en candente discusión y el debate sobre ellos está abierto. La evolución como un hecho científico se ha introducido desde los centros de investigación a los currículos de enseñanza de la educación básica, media y universitaria. Pero, si bien se propone enseñar el hecho evolutivo, los mecanismos y dinámica de la evolución que se pretenden enseñar, parecen estar dominados hegemónicamente por los presupuestos basados en la síntesis neodarwiniana.

Otras teorías evolutivas como la hipótesis Evo-Devo (evolutionary and developmentbiology), los equilibrios puntuados, evolución modular, endosimbiosis entre otros no hacen parte de los currículos escolares ni de los libros de texto de secundaria.

En este orden de ideas, y para suplir esta falencia detectada en la enseñanza de la biología en general y de la evolución biológica en particular, el presente trabajo pretende

contribuir con la enseñanza de este campo de conocimiento que por estar en construcción es un terreno fértil en el que se pueden analizar multiplicidad de posturas que enriquecerían el diálogo entre todas las teorías, ideas o conceptos que explican el origen de los organismos, sus adaptaciones y diversidad, permitiendo alcanzar los objetivos de construir una imagen más acertada del discurso científico, en pos de construir una visión más amplia y crítica de la ciencia.

Teniendo en cuenta esta situación, el presente trabajo pretende llegar principalmente a los docentes de biología de educación básica y media e incluso a docentes de primeros semestres de educación superior (que orienten asignaturas como biología general), para que ellos puedan mejorar los procesos de enseñanza en el aula del concepto de evolución biológica.

En este orden de ideas, se hizo una revisión histórico-epistemológica de algunos de los aspectos más relevantes sobre la construcción del concepto evolución biológica, lo que constituye el primer capítulo. Este capítulo pretende resaltar que la teoría de la evolución biológica es un concepto en constante cambio y construcción, mediante la interpretación de nuevos datos empíricos y la reintereptación de los existentes, y para tal efecto se revisarán diferentes momentos históricos del desarrollo del pensamiento evolutivo desde la antigüedad hasta nuestros días, resaltando sobre todo las teorías que están en construcción como el evo-devo o la endosimbiosis, haciendo énfasis en que éstas últimas en muchos aspectos son epistemológicamente diferentes a las teorías evolutivas más aceptadas, como el darwinismo y el neodarwinismo.

La revisión epistemológica del primer capítulo de relaciona con el propósito didáctico de este trabajo en el segundo capítulo, en el cual se evidencia la importancia de la enseñanza de la evolución biológica haciendo énfasis en lo epistemológico, como también revisando brevemente el estado actual de la enseñanza de la evolución biológica desde los currículos, libros de texto y revistas especializadas. Igualmente, se hizo una propuesta que utiliza la didáctica basada en la indagación como herramienta para enseñar la evolución biológica con énfasis en la epistemología, propuesta que se materializó en las guías de los anexos 1 y 2 que tratan dos problemas puntuales, pero relevantes en la evolución biológica, como lo son el origen de la célula eucariota y de los

metazoos bilaterales, los cuales pueden ser explicados desde teorías que no necesariamente recurren a los presupuestos teóricos del neodarwinismo.

Con el objeto de ampliar el conocimiento tanto epistemológico como didáctico de este trabajo en posteriores investigaciones, en el capítulo tercero se dan dos recomendaciones y proyecciones de este trabajo. En primera instancia, se recomienda la ampliación de la revisión epistemológica de este estudio a otras teorías evolutivas que tampoco son tenidas en cuenta en el contexto escolar como los son la evolución desde la complejidad, y la biosemiótica. En segunda instancia, se recomienda un estudio cualitativo de la posible aplicación de las guías propuestas en los anexos dentro de un contexto escolar. Por último, en el capítulo cuarto, se muestran las conclusiones de este trabajo.

1. La evolución biológica: algo más que Darwin y el neodarwinismo

“La biología despierta la tendencia de ir más allá de los conceptos de organismo y de vida propuestos por el mecanicismo y el vitalismo, y a forjarse un concepto nuevo de la forma de ser de lo viviente en cuanto a tal” (Heidegger, 1928. p. 19).

En este capítulo se expondrá en qué consiste, y como se ha desarrollado, el concepto de evolución biológica desde las teorías que explican su dinámica. Se revisarán a fondo las explicaciones basadas en el darwinismo, el neodarwinismo y la síntesis moderna, sobre todo se hará énfasis en los grandes retos que las nuevas teorías evolutivas contemporáneas plantean frente al neodarwinismo y la síntesis moderna con el objeto de matizar la propuesta epistemológica del presente trabajo.

1.1 ¿Qué es la evolución biológica?

La evolución biológica (EB) se puede entender como la diversificación de todos los seres vivos a partir de un único ancestro común (o unos pocos) y es una teoría que goza de una enorme aceptación por lo comunidad científica. Los datos aportados meticolosa y sistemáticamente por la comunidad científica a lo largo de los últimos dos siglos han demostrado con enorme contundencia y nitidez la diversificación de los seres vivos, por lo cual se puede considerar a la EB como un hecho histórico y científico dada toda la evidencia que lo soporta.

Se podría decir que prácticamente ninguna persona perteneciente a la comunidad académica y/o científica rechaza el hecho de la evolución, aunque si debaten acerca de las teorías que lo explican. Sin embargo existen cuestionamientos al hecho de la evolución y las teorías que lo explican desde otros ámbitos sociales que muchas veces están basados, o en la ignorancia o, en el fundamentalismo dogmático (Sampedro,

2007). No obstante lo anterior, se evidencia una ausencia de un marco filosófico epistemológico adecuado para explicar una naturaleza esencialmente dinámica y cambiante.

En este orden de ideas, los mecanismos de la evolución están en candente discusión y el debate sobre ellos permanece abierto. Al respecto Gould (1994) enfatiza este planteamiento diciendo:

“[La teoría de la evolución] es, en el momento actual de su desarrollo, lo suficientemente sólida para ofrecernos satisfacciones y confianza y, no obstante, está fructíferamente tan poco desarrollada como para ofrecernos un arcón de tesoros rebosantes de misterios”. (Gould, 1994, p. 9-10).

Simplificando la EB se puede concebir como descendencia con modificación, entendiendo ésta como los cambios a pequeña escala en una población de individuos entre una generación y la siguiente, es decir la microevolución. También son parte de la EB los cambios a gran escala o macroevolución, o sea la descendencia de especies diferentes a partir de un antepasado común, lo cual implica procesos de extinción como también de especiación.

Es importante resaltar que la EB no es solo cuestión de cambio, ya que la mayoría de las cosas cambian con el tiempo: el clima, el paisaje, etc. En la EB es clave la descendencia ya que solo a través de ésta pueden fijarse los cambios que suceden en los organismos, poblaciones y especies.

1.2 Reseña histórico-epistemológica referente al concepto evolución biológica

En este apartado se revisarán de manera sucinta los momentos más importantes en el desarrollo del pensamiento humano en lo referente al concepto evolución biológica, haciendo énfasis en las ideas predarwinianas de los siglos XVIII y XIX, y de una manera más amplia, en lo que respecta al darwinismo, neodarwinismo, síntesis moderna y las nuevas teorías acerca del concepto evolución biológica, que de una u otra manera, retan o complementan lo propuesto por la síntesis moderna y el neodarwinismo.

1.1.1 La Antigüedad.

La idea de cambio de los organismos vivos a través del paso del tiempo se remonta a pensadores griegos como **Anaximandro (610-546 a.C.)**, quien planteó que los organismos terrestres debían provenir de organismos acuáticos, los cuales se habían transformado para conquistar este medio, con lo que bosquejó muy tempranamente ideas de evolución y adaptación (Andrade, 2009). A su vez **Empédocles (490-430 a. C.)** planteaba un origen de los organismos vivos no mediado por causas finales de orden sobrenatural.

A pesar de que el aporte de estos pensadores griegos y otros¹ es muy importante en el desarrollo del pensamiento evolutivo, existe un amplio consenso entre los científicos y académicos que sitúa a **Aristóteles (384-322 a. C.)** como el filósofo de la antigüedad que más desarrolló investigaciones y reflexiones acerca de los organismos vivos debido a que gran parte de los intereses de Aristóteles por entender la naturaleza estuvieron enfocados al estudio del fenómeno viviente, como se puede evidenciar en sus escritos *La historia de los animales*, *Sobre el movimiento de los animales*, *Sobre la generación de los animales*, etc. Así pues, Aristóteles infiere principios de movilidad y cambio en la naturaleza viviente, sobre todo en su obra *La historia de los animales*. En ésta Aristóteles plantea una clasificación de los seres vivos desde los menos complejos (llamados por él *inferiores*) a los más complejos (*superiores*) en lo que se conoce como *Scala Naturae*² evidenciando así relaciones entre las diferentes formas de vida terrestres.

Igualmente, Aristóteles en su obra *Sobre la generación de los animales* plantea una idea de desarrollo embriológico para explicar la existencia de diferentes animales, lo cual lo hizo desde el estudio de embriones de diferentes organismos, presupuesto que le ha permitido el reconocimiento de científicos como Gould (2010), quien lo denota como “*tatarabuelo de la teoría de la recapitulación*” (Gould, 2010, p. 26). En sus palabras:

“Al principio todos estos embriones parecen vivir la vida de una planta (736b, líneas 13-14). Puesto que el embrión ya es en potencia un animal, aunque imperfecto, tiene que obtener su nutrimento de otro lugar; en consecuencia, utiliza el útero y a la madre, como una planta

¹ Como Tales de Mileto, Anaxímenes, Heráclito, Parménides etc., los cuales también plantearon explicaciones sobre el fenómeno de lo vivo (N. del A.).

² Ordenamiento de los seres según el grado de “perfección”, el cual tuvo gran aceptación durante la edad media y casi hasta el siglo XIX. Durante este periodo se conoció con la denominación *La Gran Cadena del Ser* (N. del A.).

utiliza a la tierra, para obtener el nutrimento, hasta que está perfeccionado hasta el punto de ser un animal locomotor en potencia (740a, líneas 24-28)". (Aristóteles, 1910, en De Generatione Animalium, citado por Gould, 2010, p. 26).

Que la teoría de la recapitulación haya tenido tan prematuros orígenes es de gran importancia, si se tiene en cuenta que dicha teoría, en parte, es fundamental en el entendimiento de la teoría de la biología evolutiva del desarrollo o *Evo-Devo*, la cual es una postura que reta muchos fundamentos de la síntesis moderna y el neodarwinismo ortodoxo.

Es importante resaltar que el pensamiento de Aristóteles contrasta ampliamente con el de **Platón (427-327 a. C.)**, ya que este último pensaba que las especies corresponden a esencias fijas que no cambiaban con el tiempo, siendo un producto de una creación individual, y carentes de relaciones de filiación o parentesco entre ellas. La visión platónica es la que se conoce como esencialismo (visión antievolutiva³) que considera a los animales y plantas como sombras de plantas y animales ideales, estáticos y perfectos del ultramundo. En contraste, para Aristóteles, la esencia era dinámica y se manifestaba en su proceso de transformación de potencia a acto como lo ejemplifica el desarrollo embriológico y ciclo de vida de los animales.

A pesar de que el conocimiento del desarrollo del pensamiento evolutivo en la antigüedad en culturas no occidentales es escaso, se sabe que algunos pensadores chinos enunciaron ideas acerca del cambio de los organismos vivos. Needham (2010) plantea que el taoísmo niega explícitamente la fijeza de las especies especulando sobre el comportamiento de los seres vivos como entidades en constante transformación que desarrollan diferentes particularidades en respuesta a diferentes ambientes.

1.1.2 El Medievo

³*"El platónico ve cada cambio en los conejos como una desviación desordenada del conejo esencial, como si todos los conejos estuvieran unidos al conejo esencial por una cuerda invisible. ¡Qué imagen tan desesperadamente antievolutiva!"*.(Dawkins, 2010. p. 32).

Este periodo de tiempo catalogado por muchos como sombrío, y en el cual no hubo mayor avance del pensamiento, es no obstante, clave, en el surgimiento de la revolución científica, ya que las contribuciones medievales fueron imprescindibles para la aparición del pensamiento racionalista y empírico (Andrade, 2009).

Valga mencionar la connotación teológica que caracterizó las explicaciones y representaciones de orden político, social, intelectual y cultural durante este periodo histórico, en razón a la expansión y fuerza colonizadora que alcanzaron, con epicentro en territorio europeo, las religiones judía, cristiana e islámica. De allí que salir al encuentro con el conocimiento del mundo natural, fue una tarea bastante difícil.

Precisamente en este contexto el planteamiento de **Agustín de Hipona (354-430)** (reconocido como uno de los Padres de la iglesia cristiana), explica el mundo y sus criaturas como una obra perfecta de Dios, obra en la que el entendimiento humano ha de estar condicionado a la revelación divina, incuestionable. La humanidad ha de concentrar su existencia en desarrollar la espiritualidad, a través de la oración y la práctica de virtudes cristianas, inexcusablemente, como complemento a la obra de Dios. Si ya de por sí los postulados platónicos ocasionan distanciamientos y equívocos que alcanzan hasta nuestros días las explicaciones con relación a la evolución biológica, la adopción platónica que proporciona Hipona (neoplatonismo), arraiga el esencialismo con el agravante de tener un profundo trasfondo teológico que dificultó el desarrollo de un pensamiento naturalista y mucho más el evolutivo.

En este camino y por considerarse el padre de la Escolástica, movimiento teológico y filosófico que representa predominantemente el pensamiento medieval, Tomás de Aquino, explicará también con elementos que comprometen la revelación religiosa y el cristianismo. Sin embargo, con relación a Hipona ha de reconocérsele una medida en la relación que establece entre la razón y la fe, lo cual indiscutiblemente obtiene de su afinidad con el pensamiento aristotélico, pese a que su comprensión del mismo no dejó de estar guiada por la experiencia religiosa que le acompañaba. Es comprensible entonces que al aludir al mundo natural lo haga a partir de la concepción que Aristóteles denominará “facultad vegetativa”, designada por Aquino como “alma vegetativa”, la cual explica cómo la facultad para la alimentación, el crecimiento y la reproducción, única alma que poseen los vegetales, que comparten los animales con el alma sensitiva y los hombres dotados de las dos anteriores, puede realizar los distintos tipos de actividades

vitales, a las que se suma el alma intelectual, que faculta el entendimiento y la voluntad. En suma, el alma vegetativa determina el grado inferior de vida, por lo que su clasificación así mismo queda expuesta, a saber, la nutritiva, tendiente a la conservación, la aumentativa o crecimiento y la generativa, determinante para la conservación de la especie.

También durante este periodo existieron posiciones que, si bien aceptaban a Dios como el supremo creador, planteaban que el hacedor supremo había dejado su obra incompleta y que era deber del Hombre completarla. Partidarios de estas posiciones fueron **Thierry Chartres** y **William de Conches** quienes en el siglo XII sostenían que el universo funciona de acuerdo a leyes dentro de una autonomía y dinamos propios de la naturaleza, por lo tanto la naturaleza podría ser cognoscible así sea Dios la causa primera de la evolución o cambio. Además plantearon que la naturaleza actuaba de acuerdo a patrones arquetípicos y que por lo tanto seres similares producirían seres similares⁴ (Andrade, 2009).

El Medievo también legó a las generaciones posteriores la alquimia, la cual planteaba la posibilidad de cambio o transmutación tanto de la materia inerte como de la viva, lo cual de una u otra manera, fue rescatada por ciencias como la química y posteriormente por la biología como parte de su cuerpo de conocimientos.

Así pues, la concepción de “alquimia”, producto de lo que fuera la experimentación medieval, encausará de alguna manera a los nacientes postulados del racionalismo, como también a lo propuesto por el empirismo, en tanto concreción observacional y experimental.

1.1.3 La revolución científica

Los inicios de este periodo en occidente, que se remontan a lo que se conoce como Renacimiento, durante los siglos XV y XVI, constituyó uno de los periodos más prolíficos en cuanto a descubrimientos e innovaciones técnicas, entre las que se pueden citar, la reingeniería de la pólvora y la imprenta ya inventadas en la antigua China, la primera

⁴ Lo cual es aceptado hoy en día por la biología de la reproducción (N. del a.).

para uso en armas de gran poder, y la segunda para el perfeccionamiento de la imprenta que logró Gutenberg e hizo posible una mayor difusión de escritos de diferente tipo. Igualmente la brújula, los artefactos ópticos, los avances en vidriería, metalurgia, ingeniería etc., logrados entre otros, por personajes de la preeminencia de **Leonardo da Vinci (1452-1519)** cambiaron profundamente la manera de vivir de las personas de esta época, no solo en cuanto a su relación con los artefactos (confort, producción) sino también, como se verá más adelante, en el uso de la producción de máquinas como metáforas para explicar la dinámica de la naturaleza.

En este contexto, el pensamiento científico fue dominado por una visión mecanicista del mundo, la cual se caracterizó por la preponderancia de una concepción que requiere para entender la naturaleza, una separación entre el observador y el mundo observado, además de un concepto de materia pasiva que requiere de fuerzas externas para que sucedan los fenómenos. Así pues, los prematuros estudios en cuanto a la naturaleza del fenómeno viviente cayeron en este tipo de visión dualista del mundo.

Uno de los grandes representantes de esta visión del mundo fue **René Descartes (1596-1650)**, quien al plantear la dualidad entre mente y materia desde el racionalismo hizo posible que surgiera la analogía de máquina para referirse a los organismos biológicos, ya que Descartes planteó que Dios como la gran mente universal podía tener la facultad de crear utilizando la materia a sus criaturas, es decir los seres vivos, de una manera similar como los artesanos e ingenieros creaban sus máquinas. Esta manera de ver la naturaleza era posible gracias a la formalización matemática del conocimiento, la cual se remonta a los pitagóricos, ya que así como es necesario para un ingeniero tener un buen conocimiento matemático para construir una máquina, el gran hacedor (Dios) por ende debía haber escrito su gran obra (el universo) en el lenguaje numérico. En este contexto, las diferentes fuerzas y/o energías (creadas y determinadas por Dios) que actuaban sobre la materia constituyente de los seres vivos actuaba mediada por un gran fluido universal que conformaba toda la trama del universo, lo anterior implica dos importantes presunciones: primero, que los seres vivos están compuestos simplemente por la misma materia que constituye las demás cosas del universo, es decir la materia viviente no presenta características diferentes en su interior o dinámica a la materia inerte; y segundo, que es imposible que exista el vacío, ya que debía existir algún medio por el cual se podían transmitir las fuerzas o energías para lograr que suceda tanto la dinámica de la materia viviente como la de la inerte.

Siguiendo esta línea de pensamiento, **Galileo Galilei (1564-1642)** influenciado por **Copérnico (1473-1543)**, desde una visión que se podría llamar neopitagórica en la que el mundo natural debe ser leído como un escrito numérico y por lo tanto considerar a su hacedor (Dios) como el gran matemático, adopta la visión platónica de la existencia del mundo ideal (de esencias imperfectibles, incorruptibles y geométricas de un ultramundo) y del mundo sensible (el de la naturaleza, de nosotros), pero propone un puente entre los dos mundos, dicho puente que permitiría su comprensión es la matemática.

Así mismo, **Bacón (1561-1626)**, quien difiere del método cartesiano racionalista para explicar la naturaleza, quien propone el empirismo de corte inductivista que plantea que las generalizaciones solo pueden lograrse *a posteriori* luego de una concienzuda valoración de la experiencia y de la gran suma de casos particulares, no se alejó de una visión del mundo puramente mecanicista, en la que difícilmente se podría desarrollar una explicación del fenómeno viviente que difiriera de la metáfora seres vivos/máquina y que tuviera en cuenta la dinámica propia del fenómeno de lo vivo.

Este apabullante desarrollo del mecanicismo alcanzó su esplendor con **Newton (1642-1627)**, quien hizo enormes aportes al desarrollo de la ciencia moderna. Uno de estos fue proponer explicaciones a las fuerzas que median para que sucedan los fenómenos como el movimiento de los planetas a través de sus conocidas leyes, mas no encaró el problema acerca de qué hace que sucedan las fuerzas y simplemente delegó este problema a un principio ordenador externo, o Dios dentro del más puro y fiel neoplatonismo. Cuando Newton enfrenta algunos aspectos propios de la biología en su obra *Cuestiones ópticas* (1717), insinúa claramente la posibilidad de un diseñador tipo ingeniero para los organismos vivos, como también para los órganos que los componen, al mejor estilo cartesiano. Evidencia de ello son los siguientes cuestionamientos que propuso Newton:

¿Cómo es que los cuerpos de los animales están ingeniados con tanto arte y qué finalidad tienen sus diversas partes? ¿Acaso el ojo ha sido ingeniado sin pericia en óptica y el oído sin conocimiento en sonidos? ¿Cómo se siguen de la voluntad de los movimientos del cuerpo y de dónde surgen los instintos de los animales? ¿No es el sensorio de los animales el lugar en que está presente la sustancia sensitiva y a donde son llevadas las formas sensibles a través de los nervios y el cerebro, a fin de que sean allí percibidas por su presencia inmediata en dicha sustancia? ¿No se sigue de los fenómenos que hay un ser incorpóreo, inteligente, omnipresente, que ve

Íntimamente las cosas mismas en el espacio infinito, como si fuera en su sensorio, percibiéndolas plenamente por su presencia inmediatamente ante él? (Isaac Newton, 1717, *Cuestiones de óptica*, Cuestión 28, p.319 Citado por Andrade, 2009, p. 76).

Como se verá en el siguiente apartado, la influencia del mecanicismo alcanzará gran parte del pensamiento de los naturalistas y biólogos propiamente dichos de los siglos XVIII al XXI, pero también habrá posiciones que retan la visión mecánica del mundo de lo vivo y que plantearán que el fenómeno viviente es plausible comprenderlo desde una comprensión holística que permite un proceso de emergencia (novedad y cambio), dinámica interna y que a su vez permite la realización de acciones encaminadas hacia un fin (Núñez, 2008).

1.1.4 Los naturalistas del siglo XVIII al XIX

En este apartado se revisará el pensamiento de diferentes naturalistas europeos que de una u otra manera influyeron en el desarrollo del pensamiento evolutivo, ya sea bien porque tuvieran posiciones opuestas a éste, como es el caso de Linneo o Buffon, o bien por que abrieran el camino a lo que se conoce actualmente como evolución biológica, como es el caso de Lamarck y Von Baer, entre otros.

1.1.4.1 Carlos Linneo⁵ (1707-1778).

Considerado como el padre de la taxonomía, principalmente por la invención del sistema binomial de clasificación de los seres vivos, que *grosso modo* funciona así: para clasificar por ejemplo a un perro doméstico se necesita nominar primero el género, es decir la generalidad del organismo en cuestión (sus características comunes con sus similares morfológicamente, lobos, zorros, etc.), y segundo su especificidad, entonces se tiene el nombre científico *Canis familiaris* (la segunda parte del nombre se refiere a lo obviamente familiares que son los perros para los humanos), valga decir que este tipo de clasificación se ha utilizado desde entonces y se sigue utilizando hasta nuestros días. En este orden de ideas Linneo también propuso la agrupación de los géneros en familias y estos a su vez en órdenes, clases y reinos, concepción que ha variado muy poco actualmente.

⁵Carl NilssonLinæus, latinizado como CarolusLinnaeus(N. del A.).

La aportación de Linneo es sin duda significativa ya que se considera como un gran aporte a la nomenclatura moderna en biología, la cual tuvo su nacimiento con la obra "Las especies de plantas" (*Species Plantarum*)⁶ en 1753, lo que por lo menos en cuanto a lo que el género como categoría de clasificación se refieren no era del todo novedoso dado que desde tiempos de Aristóteles (o probablemente antes) se había intentado agrupar a los seres vivos por sus características similares como animales domésticos, voladores y acuáticos (lo que hoy en día a la luz de la taxonomía contemporánea podría parecer jocoso o disparatado).

No obstante, esta gran aportación de Linneo a la biología, su pensamiento contribuyó muy poco al concepto de evolución biológica ya que él, como los naturalistas de su época, estaban convencidos de que toda la naturaleza era reflejo de la creación de Dios y que las especies, géneros y otras categorías taxonómicas representaban esencias fijas e inmutables de la obra del creador, lo que sin duda, como se mencionó anteriormente refleja un profundo como obstinante platonismo.

Sin embargo, Linneo, momentáneamente y de una manera tímida, sugirió que algunas especies podrían haberse originado a través de la hibridación ya que él observó este hecho en varios especímenes de plantas que había estudiado, dejando la posibilidad abierta de que algunas especies hubieran surgido después de la creación a través del mecanismo de hibridación. Este mecanismo de especiación, como se verá posteriormente, es retomado de una manera más científica, rigurosa y sistemática por la gran bióloga Lynn Margulis (2003) y constituye uno de los grandes retos al piso teórico neodarwinista.

Es importante aclarar que para Linneo el proceso de generación de especies no era abierto ni mucho menos ilimitado, ya que toda especie que hubiera podido surgir era parte del plan divino y estaba ya en potencia en las primeras especies que había creado Dios.

⁶ Como se puede deducir, Linneo escribió esta obra porque en principio fue un gran botánico y basó su clasificación principalmente en la disposición de los órganos sexuales de las plantas, no obstante en obras posteriores como *Sistema Naturae*(1758) amplió el sistema binomial a la clasificación de muchos animales (*N. del A.*).

1.1.4.2 Georges Louis Leclerc conde de Buffon (1707-1778).

El pensamiento de Buffon se enmarca dentro del mecanicismo newtoniano imperante en gran parte de Europa, ya que explicaba la naturaleza de lo viviente desde lo corpuscular (átomos o moléculas vivientes), los cuales eran impulsados por fuerzas físicas externas a ellos.

Para Buffon los organismos vivientes surgieron de unos moldes iniciales para cada especie, que se originaron en arcillas, las cuales atrajeron a las moléculas orgánicas originándose así cada especie. Al respecto el naturalista francés refiere:

“El cuerpo de un animal es una especie de molde interior, en el que la materia que sirve a su crecimiento se modela y se asimila al todo, de manera que, sin que ocurra ningún cambio en el orden y la proporción de las partes, de ahí resulte, sin embargo, un aumento en cada parte tomada separadamente; y es ese aumento de volumen que llamamos desarrollo, porque se creyó explicarlo diciendo que, estando el animal formado en pequeño como él es de grande, no sería difícil concebir que las partes se desarrollaban a medida que una materia accesoria venía a aumentar proporcionalmente cada una de ellas. Pero este mismo aumento, este desarrollo, si se quiere tener una idea nítida de él, sólo puede pensarse considerando el cuerpo del animal, e incluso cada una de sus partes que deben desarrollarse, como siendo moldes interiores que sólo reciben la materia accesoria en el orden que resulta de la posición de todas ellas” (Buffon, 1749, p. 41, citado por Caponi, 2009 p. 685).

Es importante resaltar que la constancia del molde interior que explica la constancia de las especies con el paso de las generaciones, podría sufrir modificaciones secundarias en su proceso de reconstitución debido a factores externos como el clima, la ubicación geográfica y la alimentación. Este razonamiento llevó a Buffon a considerar como hipótesis plausible que especies muy parecidas entre sí, como el asno y el caballo, entre otras, pudieron haber surgido de un ancestro común que sufrió diferentes modificaciones a causa de las diferentes condiciones climáticas y alimenticias que experimentaron. Dichas modificaciones eran consideradas como degeneraciones y/o perfeccionamientos, es decir alejamientos del molde inicial, hecho que explicaban la semejanza entre las especies, e incluso, el origen de las diferentes especies animales (Andrade, 2009).

Por lo anterior se podría afirmar que Buffon pensó en términos de transformaciones o modificaciones evolutivas para explicar la biodiversidad. Sin embargo, Buffon en ocasiones contradujo sus propias especulaciones sobre algún tipo de transformación en

los seres vivos, apelando a la infertilidad de los híbridos y a la constancia de las especies, esto último debido no solamente a sus creencias religiosas, que daban como un hecho los relatos bíblicos que explican el origen de las especies como un acto de creación realizado por Dios, sino sobre todo al hecho que exigía renunciar a una la teoría de la reconstitución del molde interior de cada especie en cada generación que había sido decisiva para derrotar la teoría preformista del *encajamiento*⁷.

1.1.4.3 Los filósofos naturales.

La *Naturphilosophie* o filosofía natural romántica alemana nace como reacción al racionalismo de la ilustración y pretende sustituir los supuestos mecanicistas para explicar la naturaleza, por una visión mucho más dinámica de ésta.

Entre los representantes más destacados de esta corriente de pensamiento tenemos a **Schelling (1775-1884), Oken (1779-1851), Goethe (1749-1832), Von Baer (1792-1876)**, entre otros. Estos filósofos naturalistas propusieron hipótesis dotadas de un inmenso valor heurístico que hoy en día sirven de base epistemológica a explicaciones sobre la evolución biológica que van más lejos que las teorías neodarwinistas, como lo son: La epigénesis, la recapitulación, autoorganización, etc.

Schelling, quien podría considerarse la columna vertebral de la *Naturphilosophie*, retomó presupuestos de Spinoza y planteó que la materia y el espíritu no son más que dos facetas de una única sustancia, en contraposición con el pensamiento de Descartes quien creía en el dualismo mente-espíritu. Consecuentemente, Schelling concibe la naturaleza como única, pero en una dinámica en la que imperan fuerzas de atracción y repulsión mediadas por un eje unificador, acercándose en este punto al pensamiento kantiano.

Igualmente Schelling retoma del pensamiento de Kant la concepción de que los organismos se autoreproducen y se autoconstruyen, lo que los dota de algún tipo de finalidad. Dicho pensamiento teleológico estaba ausente en los presupuestos

⁷La teoría del encajamiento sostenía que las formas preexistían encajadas dentro del ovulo de la primera hembra, de cada especie, de una manera similar en la que las matrioskas, muñecas que son huecas por dentro, que en su interior albergan una nueva muñeca, y ésta a su vez a otra, y ésta a su vez otra (N. del A.).

mecanicistas. En este orden de ideas, la materia inerte no sería la precursora de los seres vivos, sino más bien lo contrario, la vida sería la que le da la razón a la existencia de la materia inanimada, lo que conlleva a pensar que la naturaleza es algo inacabado, y su estudio no puede ser tomado recurriendo a pensarla como un objeto que pueda ser dispuesto de ser estudiado apelando a explicaciones puramente causales.

En cuanto al pensamiento evolutivo de Schelling, tenemos que preconizó la dinámica del cambio en los organismos con el paso del tiempo, y utilizando un prematuro concepto de especie diferente al concepto actual ya que en esta escuela cuando se habla de especies se hace referencia a que éstas son parte de un superorganismo animal.

De gran importancia para el pensamiento evolutivo es que Schelling planteó que los individuos evolucionaban expresando los rasgos de las especies con mayor vigor hasta alcanzar la forma más completa de la especie en cuestión. Dichas transformaciones se podían observar en el desarrollo del embrión, el cual constituía un signo evidente del desarrollo del ser a través de sus etapas evolutivas, pensamiento que será fundamental para el desarrollo de las posteriores teorías recapitucionalistas, que luego también serán a su vez fundamento de teorías evolutivas contemporáneas como la *evo-devo*.

Por otra parte, Goethe ilustró la dinámica de la naturaleza a través de la teoría de la metamorfosis al observar cómo, por ejemplo en las plantas, las diferentes transformaciones en los órganos hacen que la planta evolucione como un todo para desplegar su *telos* vital, y esto se logra a través de los jugos vitales de la planta como también de factores extremos como la luz y el aire, es decir la dinámica de transformación de la planta incluye factores internos como externos.

Oken y Serres plantearon que los embriones de animales como los mamíferos, incluido el hombre, transitan en su desarrollo por una sucesión de estados morfológicos que coinciden con los de animales adultos menos complejos (llamados por ellos inferiores). Serres por ejemplo llegó a afirmar que “los *animales son únicamente las etapas fetales del hombre que persisten*” (Oken, 1811, citado por Smith, 1977. p. 313). Este tipo de planteamientos no solo estaban sustentados por disertaciones meramente filosóficas, sino que también tenían su fundamentación en la experimentación, como la realizada por **Wolff (1734-1793)**, quien es considerado como uno de los fundadores de la embriología

y quien fue de los primeros que rebatió el preformacionismo⁸ retomando los presupuestos epigenetistas⁹ que ya habían sido de alguna manera delineados varios siglos antes por Aristóteles.

Para 1828, Von Baer desde la embriología, disciplina que ya estaba más desarrollada que en la época de Wolff, relacionó la gradación de los animales y el desarrollo embrionario conectando el epigenetismo con la teoría de los cuatro tipos de **Cuvier (1769-1832)**¹⁰ planteando que los animales se desarrollan al principio formando rasgos fundamentales de su tipo, luego los de clase, orden, familia, género y especie, es decir que pasan por las diversas categorías taxonómicas y por último desarrollan sus cualidades individuales, entonces la embriogénesis debe ser entendida como un proceso de individualización cada vez mayor, lo que implica que el parecido de los embriones cuanto más jóvenes son, no es porque se trate de embriones idénticos, sino al hecho de que aún no están muy diferenciados (Sánchez, D. 2011).

1.1.4.4 Étienne Geoffrey Saint-Hilaire (1772-1844)

Étienne Geoffrey Saint-Hilaire desde su formación como zoólogo publicó varias obras relacionadas con taxonomía animal y con historia natural en las que en un principio coincidió con lo propuesto por Cuvier, con quien tuvo en principio muchas coincidencias epistemológicas ya que ambos planteaban un sistema de clasificación basado en la subordinación de caracteres el cual no se alejaba mucho de lo propuesto varias décadas antes por Linneo.

No obstante lo anterior, en la madurez de su carrera, muestra un pensamiento evolutivo que se acerca en algo al pensamiento transformista de Lamarck y gracias a sus estudios sobre anomalías en el desarrollo (teratología) y en sus estudios embrionarios plantea el

⁸Planteamiento que propone que el desarrollo de un embrión no es más que el crecimiento de un organismo que ya estaba preformado, bien sea que éste se encuentre en el esperma (animaculismo), o bien se encuentre el óvulo (ovismo) (*N. del A.*).

⁹El epigenetismo del siglo XVII y XIX plantea que los organismos no se encuentran preformados en el óvulo fecundado y que éste se puede desarrollar a causa de una diferenciación del material más o menos homogéneo que lo constituye. Este tipo de pensamiento, ya de alguna manera había sido propuesto por Aristóteles en su obra *La reproducción de los animales* (*N. del A.*).

¹⁰Cuvier comenzó a difundir su propia idea de que existían cuatro tipos corporales básicos en el reino animal: Vertebrados, Articulados, Radiados y Moluscos y tres hipótesis morfológicas (*N. del A.*).

concepto de homología¹¹, el cual pretendía establecer una conexión entre la embriología y la anatomía comparada lo que lleva a Geoffroy Saint-Hilaire a distanciarse diametralmente del pensamiento fijista de Cuvier.

Como evidencia del distanciamiento conceptual entre Cuvier y Geoffroy Saint-Hilaire se tiene el gran debate sucedido entre estos dos naturalistas en 1830, en el que Geoffroy planteaba que prácticamente todas las estructuras anatómicas del reino animal son variaciones del mismo plan estructural, lo cual Cuvier consideraba exageradamente especulativo ya que éste pensaba que los diferentes órganos muestran similitudes desde lo funcional o como se llamaría en el lenguaje contemporáneo de la biología desde las analogías¹² y que por tanto lo anterior era prueba de la escasa o nula relación entre sus famosos cuatro tipos corporales.

Geoffroy Saint-Hilaire en cambio planteó que las similitudes entre los diferentes organismos se debían a la primacía de lo morfológico sobre lo fisiológico y que dicha morfología se debía a la unidad de plan estructural del reino animal, a tal punto que llegó a comparar la anatomía de invertebrados como la *jibia* con la de un vertebrado punto por punto, si se suponía al vertebrado doblado sobre su abdomen como una horquilla. Es decir, el razonamiento anatómico de Geoffroy de alguna forma mostraba la relación entre especies que se consideran hasta nuestros días alejadas evolutivamente. De acuerdo con lo anterior, existe una correspondencia entre los órganos de todas las especies, no importa si los órganos pueden encontrarse hipertrofiados, atrofiados e incluso haber desaparecido, pero el modelo común se mantiene. Tal modelo común, por otro lado, es construido en virtud de consideraciones exclusivamente morfológicas. Desafortunadamente, en el debate de 1830 la mayoría de investigadores no le dieron crédito a lo propuesto por Geoffroy Saint-Hilaire por considerarlo demasiado extravagante y fue ridiculizado y ya que este tipo de planteamientos de alguna manera se acercaban a las hipótesis de la filosofía natural alemana, ésta también cayó en descredito (Sánchez, D.2011).

¹¹ Estudio comparativo de organismos que relaciona dos partes orgánicas cuando tienen el mismo origen evolutivo así aparentemente sean dispares o muy diferentes. Ejemplos de ello son las cuatro extremidades de los vertebrados con mandíbula sean estos tiburones, aves o mamíferos, es decir todas estas extremidades de estos diferentes grupos son homólogas (*N. del A.*).

¹²Las analogías muestran que las estructuras orgánicas a pesar de que cumplan una función semejante no necesariamente tienen un mismo origen evolutivo cercano (*N. del A.*).

No obstante lo anterior, y como se mostrará más adelante, el pensamiento de Geoffroy Saint-Hilairees retomado por las innovadoras hipótesis que plantea la embriología contemporánea y sobre todo la teoría del evo-devo que relaciona la biología del desarrollo y la evolutiva, tal es el caso de los genes *hox* que controlan el desarrollo de los ojos y que muestran relaciones homológicas entre los ojos de los invertebrados y los vertebrados, los que se pensaron durante mucho tiempo como estructuras puramente análogas¹³.

1.1.4.5 Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829)

Lamarck, naturalista francés quien realizó importantes trabajos en la sistematización de los seres vivos, (lo cual ya se venía realizando desde Linneo y Buffon, entre otros), realizó también aportes de mayor significancia para la biología contemporánea. Uno de ellos es la formulación de las primeras teorías sólidas sobre evolución biológica, así también acuñó el término biología para referirse a la ciencia de los seres vivos.

El pensamiento de Lamarck es complejo, ya que por la influencia que tuvo de **Diderot (1713-1784)** puso en evidencia las limitaciones del pensamiento mecanicista newtoniano para explicar el fenómeno viviente, pero igualmente recurrió a explicaciones basadas en fuerzas de atracción, repulsión, vitales y medioambientales con un profundo sabor newtoniano para explicar la dinámica de la vida desde sus orígenes (generación espontánea) como de su transformación gradual (evolución) (Andrade, 2009).

A pesar de que para Lamarck la vida era fruto, en última instancia, de la voluntad de Dios, una vez que el creador había transmitido este plan a la naturaleza, ésta se encargaba de desplegar su dinámica. Por tanto, para los científicos buscar explicaciones del fenómeno viviente simplemente requerían acercarse al fenómeno como tal, lo que

¹³La genética molecular ha confirmado una de las hipótesis más osadas de Saint-Hilaire: la identidad por inversión de los planes corpóreos de vertebrados y artrópodos. En 1996, Robertis y Sasai descubrieron que el eje dorso-ventral de vertebrados y artrópodos está establecido por genes homólogos cuyo patrón de expresión se encuentra invertido en ambos grupos (Robertis y Sasai, 1996).

hoy en día podría acercarse a la posición deísta de la naturaleza, la cual en tiempos de Lamarck fue un puente entre el teísmo y el materialismo¹⁴. Este planteamiento constituía la mejor manera de justificar una posición materialista en un contexto social teísta que se había visto socavado por la revolución francesa. Por esta razón a Lamarck se le asocia a las posiciones materialistas de finales del siglo XVIII y principios del XIX.

En este contexto para Lamarck era muy importante tratar de describir la dinámica organizativa intrínseca de los seres vivos, que los hace fenómenos únicos de la naturaleza, a través del estudio de los procesos propios de la vida, y por eso, rechazó una visión reduccionista que tratara simplemente de explicar los componentes últimos que constituyen la materia viviente para explicar su origen o funcionamiento. Así pues, Lamarck al considerar la importancia de la organización interna de los seres vivos en sus funciones vitales, como en su historia, plantea que los seres vivos son sujetos activos, que no sólo responden pasivamente a las acciones externas de fuerzas newtonianas, y con esto, preconizó la idea de autoorganización y autopoiesis, que luego renacerá en el siglo XX y es de gran importancia en las teorías evolutivas contemporáneas que no son de corte neodarwinista.

Igualmente para Lamarck, en concordancia con las teorías contemporáneas que explican el fenómeno viviente, consideraba que los seres organizados y complejos (seres vivos), mostraban una serie de propiedades y particularidades que emergían desde su propia organización y por tanto su estudio no podría tomarse como el de meras partículas influenciadas por fuerzas externas. No obstante, Lamarck para no alejarse tan radicalmente del newtonismo dominante, sí aceptó algún papel de las fuerzas típicamente mecanicistas como la gravedad en la dinámica de lo viviente, pero no les dio un papel causal preponderante en la explicación del fenómeno. En este contexto Lamarck habla de fuerzas de unión y repulsión que posibilitarían la organización de la materia alcanzando así el nivel de organización necesario para que se formen seres vivos, y además planteó que estas fuerzas que generaban calor se transmitían como

¹⁴En la posición deísta Dios existe y creó el universo físico, pero no interfiere con él por lo que Dios se revela a sí mismo indirectamente a través de las leyes de la naturaleza descritas por las ciencias naturales, mientras que en el teísmo Dios está presente activamente en todas y cada una de los fenómenos de la naturaleza y del comportamiento humano (*N. del A.*).

fluidos, lo que posteriormente queda desvirtuado al conocerse la naturaleza del calor como energía cinética (termodinámica).

Para Lamarck, la fuerza que generaba el ser vivo como respuesta a las presiones del medio exterior y que constituían una propiedad emergente de los seres vivos, era *la fuerza vital o vis viva*, concepto que lejos de ser una propiedad misteriosa como se malinterpretó luego (incluso hasta nuestros días), tenía un soporte explicativo dentro del campo de lo físico-químico y podrá ser explicada luego en términos de emergencia, autoorganización, información, y entropía.

Para Lamarck, el cambio evolutivo en los organismos es resultado de una transformación gradual desde los infusorios¹⁵ hasta el hombre como pináculo de la evolución, de acuerdo a un plan de la naturaleza, es decir, Lamarck invirtió la gran cadena del ser que iniciaba con Dios y que pasando por los ángeles descendía hasta el hombre, los animales, plantas etc., la inversión implicaba proponer que en la formación de la vida comenzaba de lo más simple a lo más complejo es decir que se mantenía una gradación continua pero explicada en términos de cambio a lo largo del tiempo (Andrade, 2009).

Ésta transformación a partir de cada evento de generación espontánea sigue siempre una tendencia dada por un plan de la naturaleza que se manifiesta como una transformación de lo simple a lo complejo. En este sentido la noción de plan de la naturaleza tiene una connotación determinista aunque los organismos pueden verse distanciados por la acción azarosa del medio ambiente (clima, alimentación y uso y desuso de los órganos) de la tendencia inscrita en el plan.

Para Lamarck la evolución era un aumento en la perfección de los organismos¹⁶ de acuerdo a una tendencia o plan de la naturaleza y que se da gracias al despliegue de la fuerza vital, asumiendo que las transformaciones en los organismos desde el huevo

¹⁵ Cuerpos gelatinosos microscópicos que se caracterizan por ser los menos complejos de los seres vivientes originados espontáneamente, pero que no provienen de un ancestro común, por lo tanto dan origen a diferentes linajes de seres vivos.

¹⁶ En lenguaje contemporáneo se podría decir *aumento de complejidad (N. del A.)*.

hasta el adulto son equiparables a las que sufren los seres vivos a lo largo del tiempo, acercándose en este sentido a lo planteado por la filosofía natural alemana y al recapitucionalismo.

Tal vez lo más conocido de Lamarck, sea el planteamiento de sus famosas leyes para explicar la transformación de los seres vivos esbozadas en *Filosofía Zoológica* (1809), de las que resumiendo se tiene:

1. El uso frecuente y continuado de un órgano lo desarrolla y fortalece y existe una relación directamente proporcional entre el uso de un órgano y su desarrollo. Como consecuencia, un desuso prolongado de un órgano podría eventualmente causar su desaparición.
2. Debido a que el uso y el desuso de un órgano debe ser común a ambos sexos de una especie, los cambios adquiridos que éstos generan en los órganos y los organismos pueden transmitirse a las siguientes generaciones.

En suma, se puede ver que los aportes de Lamarck a la teoría evolutiva son inmensos, no obstante que a la luz de los conocimientos posteriores se hacen evidentes algunos desaciertos. Ambos, aportes y equivocaciones, quedan planteados en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Desaciertos del lamarckismo a una teoría evolutiva expandida¹⁷(TEA).

DESACIERTOS
Dar una interpretación determinista al <i>plan de la naturaleza</i> .
No haber caído en cuenta de la existencia de ancestros comunes
Considerar que los organismos responden de un mismo modo a las condiciones de vida, pasando por alto las posibles variaciones a nivel poblacional.
Crear firmemente en la naturaleza fluida del calor y en el <i>flogisto</i> ¹⁸ para explicar los fenómenos de combustión y extrapolar esto a la dinámica térmica de los seres vivos.

¹⁷Con teoría evolutiva expandida Andrade (2009) quiere decir una teoría evolutiva que complementa y va más allá de los presupuestos de la síntesis moderna y el neodarwinismo (*N. del A.*).

¹⁸*Flogisto*: Los fenómenos de combustión en la materia inerte como en los seres vivos, eran explicados por desprendimiento de una sustancia denominada *flogisto*, y no como reacciones de oxidación de acuerdo a lo planteado por Lavoisier.

Tabla 2. Aportes del lamarckismo a una teoría evolutiva expandida

APORTES
La búsqueda de leyes físicas que expliquen la transformación.
La diferenciación entre zonas interna-externa, es decir insistir en la idea de organización
El intento de explicar aumentos de complejidad
Proponer que el hábito y conducta de los organismos juegan un papel decisivo en la transformación.
El intento de explicar cómo el ambiente podría influenciar la herencia de los organismos.

Tomado y modificado de Andrade (2009) p. 122 y 129

1.1.4.6 Charles Robert Darwin (1809-1882)

Darwin, el naturalista por excelencia y considerado por muchos el padre de la biología moderna es quien por lo general se relaciona amplia y profundamente con el concepto de evolución biológica.

“No hay duda de que la teoría de Darwin es la que mejor identifica al evolucionismo científico, dada la mayor cobertura y profundidad con que explica la transformación de las formas de vida, a la vez que mantiene intactos algunos de los rasgos más generales del pensamiento newtoniano” (Andrade, 2009. p. 129).

Debido a lo complejo del pensamiento de Darwin, y también a la enorme influencia que ha tenido su pensamiento no solo en el ámbito biológico sino en diversas ciencias, como también en lo político, económico y religioso, es conveniente hacer la revisión subdividiendo el desarrollo de sus ideas en un contexto cambiante en el tiempo, a este respecto la propuesta de Andrade (2009) puede ser muy valiosa para la comprensión de los planteamientos de Darwin. Este autor señala que las cinco etapas que plasman su desarrollo intelectual son:

1. *“Darwin influenciado por la teología natural y el mecanicismo (1831-1836). Adaptación y gradualidad de acuerdo con una ley universal.*
2. *Darwin recapitucionalista (1836-1854). La evolución como proceso embriológico dirigido hacia una mayor diferenciación.*
3. *Darwin neolamarckiano (1854-1859). La existencia de variaciones dependientes de las condiciones de vida.*
4. *Darwin darwiniano (1859-1868): evolución diversificadora a partir de ancestros comunes como resultado de la selección natural*
5. *El Darwin que prefigura la genética moderna (1868-1880). La hipótesis provisional de la pangénesis.*

Etapas en las que entre una y otra hay transiciones graduales y entre todas hay traslapamientos". (Andrade, 2009, p.130)

Etapa 1: En principio Darwin como muchos otros naturalistas de su época, se vieron fuertemente influenciados por la visión hegemónica mecanicista newtoniana, que estaba en concordancia con el diseño propuesto por Paley en su *Teología natural*, y que a través de relaciones lógicas entre la adaptación de los organismos a su ambiente, concluía un propósito de orden sobrenatural (Dios). En esta etapa se evidencia un fuerte pensamiento mecanicista en Darwin, el cual estaba reforzado por la influencia de las teorías gradualista y de uniformidad de las leyes (Uniformitarismo) planteadas por Charles Lyell para explicar los fenómenos geológicos. En esta etapa del pensamiento de Darwin, la explicación causal externa que propone en contraposición a teología natural de Paley¹⁹ es que el diseño de los organismos se determina por un equivalente a las fuerzas de Newton llamada la selección natural, en todo caso una fuerza externa a los organismos, dejando a éstos como simples partículas inerciales afectadas por fuerzas desde afuera.

Etapa 2: Darwin influenciado por sus estudios embriológicos y la teoría de la recapitulación en la que se relaciona la filogenia (la historia evolutiva de la especie) con la ontogenia (desarrollo embriológico de los organismos), acepta que el embrión repite las formas de ancestros extinguidos. Entonces se puede entrever que Darwin acepta que al interior de los organismos puede existir una dinámica que permite producir descendencia con modificaciones, es decir, que no sólo la selección natural es la que produce los cambios en las especies. Esta visión causal de cambio interno en los organismos se acercaría a lo planteado por los filósofos naturales alemanes (Sánchez, D. 2011).

Darwin al aceptar las tesis recapitucionalistas, está aceptando la posibilidad de un principio vital que existe en los seres vivos y hace posible que se desarrollen ontogénicamente (Sánchez, D. 2011). Además, que dicho principio se puede aplicar

¹⁹Contraposición no tan radical como la historia lo muestra, ya que simplemente Darwin cambio la causación externa de un Dios por una causación externa naturalizada, es decir la Selección natural (*N. del A.*).

analógicamente al desarrollo filogenético, pero con posibilidades abiertas, puesto que sus árboles filogenéticos ramificados muestran muchas posibilidades evolutivas diversificadoras, que ontológica y epistemológicamente son diferentes a los árboles planteados por Haeckel (1866). En éstos parece que hubiera una dirección preestablecida en la evolución, en la que en el tope de ésta estaría el hombre. Se podría decir que de alguna manera, Darwin en esta etapa, prefiguraría unos de aspectos de la teoría *evolveo* contemporánea, que paradójicamente choca con algunos aspectos del neodarwinismo ortodoxo.

Etapas 3: Darwin al aceptar las tesis lamarckistas en las que el medio externo podría esculpir a los seres vivos mediante una dinámica en la que dichos cambios producidos por el ambiente podrían pasarse a generaciones posteriores generando una descendencia con modificaciones, está aceptando que los organismos al responder a las fluctuaciones del medio exterior genera hábitos e instintos que con el tiempo podrían generar cambios en las especies. De esta manera, está aceptando una posición más acorde con lo planteado por los filósofos naturales alemanes, en los que se da un papel preponderante al mismo organismo como modelador de su propio cambio, planteamientos que habían influenciado 50 años antes a Lamarck. Hoy en día se acepta que los organismos (como individuos o poblaciones) pueden acomodarse a los cambios externos generando así una dinámica biunívoca entre ellos y el medio ambiente, y que en ocasiones puede ser heredada.

Etapas 4: Darwin que era un colombófilo (criador y domesticador de palomas) reconoció en la selección artificial que hacían horticultores, ganaderos, domesticadores etc., y que modificaba visiblemente a las especies domesticas en razas, una analogía al proceso que luego llamará selección natural y por el cual se originarán las especies. Su teoría de la selección natural fue consecuencia en gran parte de la minuciosa lectura que hizo de Malthus en su *Ensayo sobre el principio de la población* editada en varias ocasiones (1798, 1803, 1806, 1826, 1830), obra que postula que las poblaciones crecen invariable y geométricamente, siempre y cuando haya disponibilidad de recursos, lo cual no ocurre, debido a que los recursos aumentan en forma lineal (aritmética). Esto llevará indefectiblemente a que haya una competencia por los recursos, dicha competencia por recursos limitados para Darwin fue la fuerza seleccionadora que haría que los más

adaptados dejen mayor descendencia, la cual heredará dichas adaptaciones generando descendencia modificada; es decir, los pasos graduales a la formación de nuevas especies, que a su vez explican la gran diversidad de organismos existentes. En este sentido, Darwin reconoce una explicación causal para la gran diversidad de vida basada en una fuerza externa (al estilo newtoniano) que llamó selección natural y que coincide con una visión teleológica externalista.

Entonces, la selección natural propuesta en gran parte como un recurso heurístico proveniente de la analogía con la selección artificial es el mecanismo principal del cambio evolutivo. Para Darwin (1992, [1872]) la naturaleza operaría como un criador o un horticultor que, para obtener a los organismos con el propósito de formar nuevas razas, ejecuta una selección sistemática y extendida sobre sus animales o plantas descartando las variaciones no deseadas, la naturaleza selecciona los individuos más adaptados eliminando las variaciones menos favorables que dejarían menos descendencia, es decir este pensamiento consolida lo que más ha caracterizado históricamente a Darwin: La teoría de la selección natural.

Etapas 5: Debido a la gran preocupación de Darwin por entender por qué razón las características seleccionadas en una generación no se perderían en la siguiente, aun en el caso de que hubiera un cruce con un individuo que no presentaba el rasgo adaptado (herencia por mezcla) Darwin planteó una hipótesis sobre la herencia, según la cual el rasgo no se perdía por mezcla sino que podría volver a surgir por medio de la transmisión de gémulas.

En este contexto, Darwin planteó una explicación provisional que utilizó conceptos que estaban en boga para la época basados en la teoría celular, la cual reconocía que las unidades del cuerpo (células) mostraban cierta autonomía, sobre todo en el sentido reproductor, lo que se conocía como *gémulas*. Así pues, para Darwin estas gémulas pasaron a ser unidades que formaban las diferentes partes del cuerpo de los organismos que podían ser sensibles a los cambios ambientales, de este modo Darwin utilizando una lógica lamarckiana propuso que a través de la modificación de las gémulas por el ambiente podrían transmitirse las características heredadas entre las generaciones, dando así un piso teórico explicativo a la herencia lamarckiana, aunque la idea de gémulas, varias décadas después, dio lugar a justificar la idea de herencia por

transmisión de partículas discretas, tal como se aceptó después del redescubrimiento de las leyes de Mendel.

En el siguiente cuadro se resumen los aciertos y desaciertos que planteó Darwin a la luz de los conocimientos actuales sobre evolución biológica.

Tabla 3. Desaciertos de Darwin a una teoría evolutiva expandida (TEA)

DESACIERTOS
La asimilación de la selección natural a una fuerza externa (newtoniana) a los organismos.
Concebir la evolución como necesariamente adaptativa.
Rechazar la agencia propia de los organismos en sus procesos vitales
Subestimar el papel de las restricciones estructurales impuestas por las vías del desarrollo.

Tabla 4. Aportes de Darwin a una teoría evolutiva expandida (TEA)

APORTES
El estudio de las interacciones entre los organismos y su entorno y como éstas podría ser heredadas y afectar la dinámica de la evolución.
Aceptar que las modificaciones en el desarrollo embriológico y de comportamiento son importantes en la evolución. Consecuentemente en lo que respecta a lo embriológico se considera evidente la relación entre ontogenia y filogenia.
Reconocer bauplanes o planos de organización corporal en los animales.
La explicación en términos de selección natural
La distinción entre individuos y poblaciones.
El aporte de un tiempo global a partir de un origen único de la vida
La evolución diversificadora a partir de ancestros comunes
Admitir variaciones no dirigidas o independientes de las condiciones del medio.

Tomado y modificado de Andrade (2009) p. 169 y 170.

Es importante aclarar que lo que se conoce como **darwinismo**, sobre todo en la escuela y en algunos círculos académicos, en ocasiones no tiene en cuenta muchos aspectos planteados en este apartado y resalta únicamente algunos aspectos como:

La descendencia con modificación que causa la diversificación de las especies posibilitada por la selección natural: Las especies van cambiando sus características a través del tiempo de un modo esencialmente gradual diversificándose y adaptándose a modos de vida o ambientes diferenciados. La diversificación ocurrió desde un antepasado común o unos pocos por lo que todas las especies en mayor o menor grado están emparentadas. Además la diversificación y la adaptación al ambiente de los organismos que causa el cambio evolutivo es producida principalmente por la selección natural.

1.1.5 Neodarwinismo y Síntesis Moderna

Por extraño que parezca, el surgimiento del neodarwinismo y su consolidación con la síntesis moderna, ideas que dominaron la biología en la segunda mitad del siglo XX, y que hoy en día aún se consideran muy relevantes por algunos sectores académicos, florecieron en parte como respuesta al ocaso del darwinismo a finales del siglo XIX y principios del XX periodo que fue llamado por Julian Huxley como “el eclipse del darwinismo” (Bowler, 1985). Debido a que el éxito inicial del origen de las especies de Darwin se cimentó en la idea de la evolución como tal y no al reconocimiento por parte de la comunidad científica de la selección natural como principal motor del cambio evolutivo, esto causó el inicio de la crisis del darwinismo y ésta se acrecentó, entre otros factores, por la falta de acuerdo sobre las causas de la evolución, el papel del ambiente en los cambios evolutivos, las fallas del registro fósil, el debate entre la continuidad y discontinuidad del cambio evolutivo y el no saber quiénes eran los sujetos de la evolución (organismos o poblaciones), debates que se dieron sobre todo a finales del siglo XIX. Para completar la crisis, a principios del siglo XX los biólogos naturalistas de campo que defendían la selección natural y los cambios graduales en la evolución de las especies se vieron enfrentados a la naciente genética que planteaba como motor evolutivo los cambios genéticos súbitos y discontinuos.

Entre las posiciones que adoptaron la selección natural de una manera dogmática y exagerada, que luego se conocerán como neodarwinismo ortodoxo, encontramos el seleccionismo de **Weissman (1834-1914)** y la posición adaptacionista de **Wallace (1823-1913)**. Weissman desarrolló su teoría del plasma germinal que proponía como única responsable de la transmisión de características hereditarias a las sustancias que se encontraban en el núcleo celular de las células germinales sexuales, por tanto las otras células no sexuales o como se llamarían luego somáticas no podrían transmitir características hereditarias. Esta teoría también conocida como la barrera de Weissman dejaría desacreditada cualquier tipo de herencia lamarckiana²⁰. Por otra parte, Weissman que se reconocía a sí mismo como darwinista, pudo reconocer que los cambios que se transmitían por las células sexuales, y que según él eran los únicos relevantes, serían afectados por las presiones selectivas, dándole así una

²⁰ Weissman llevó a cabo experimentos con 22 generaciones de ratones, a los que les corto la cola, y no transmitieron a sus descendientes la ausencia de cola, que sería el carácter adquirido (N. del A.).

preponderancia exagerada a la selección natural como único motor evolutivo. Wallace por su parte, defendía que todos los caracteres de una especie deberían ser adaptativos y que por tanto su origen como su transmisión se deben explicar en términos de selección natural.

En contraste **William Bateson (1861-1926)**, uno de los redescubridores del trabajo de Mendel, utilizando métodos estadísticos, propuso una evolución discontinua o a saltos en contraposición a la evolución gradual propuesta por Darwin. Sus estudios que buscaban encontrar una correlación entre el ambiente y las variaciones de los organismos fueron infructuosos contradiciendo el neolamarckismo que caracterizó parte del pensamiento de Darwin. En contraste, según Mayr (1982), propuso que existían dos tipos de variaciones en los organismos, las individuales o continuas, irrelevantes para el proceso evolutivo, y las discontinuas o repentinas que podían explicar los procesos de especiación y que se causaban no por el ambiente sino por la naturaleza intrínseca de los organismos. En apoyo a estas hipótesis, **Hugo de Vries (1848-1935)**, otro de los redescubridores de Mendel, apoyó las hipótesis de Bateson al proponer el mutacionismo que planteaba cambios bruscos a nivel genético los cuales serían el motor de la especiación en detrimento a la idea de que la selección natural fuera la causa del surgimiento de nuevas especies. Igualmente el primo de Darwin, **Francis Galton (1822-1911)** también de alguna manera, unas décadas atrás, ya había defendido la posibilidad de una evolución no gradual. Como se verá más adelante, estas ideas influirán en la teoría de los equilibrios interrumpidos propuesta por Gould y Eldredge, que se contraponen al gradualismo defendido por la escuela neodarwinista.

No obstante, para la década de 1920 las barreras que se habían originado entre los darwinistas naturalistas y los genetistas se fueron debilitando y se empezaron a dar acercamientos conceptuales y metodológicos que alcanzaron su clímax en la llamada síntesis moderna o teoría sintética. Dichos acercamientos fueron dados, paradójicamente, desde la genética que como se vio se oponía a la selección natural, pero en este caso fue la genética de poblaciones la que salió al rescate del darwinismo y tuvo como intereses de investigación la dinámica de las frecuencias de genes en las poblaciones. Dichos estudios intentaron demostrar que no tenía que haber conflicto entre la herencia particulada (basada en genes o factores hereditarios mendelianos) y la selección natural.

La base de la genética de poblaciones parte, en principio, de lo que se llamará la ley de Hardy – Weimberg propuesta en 1908 y que básicamente plantea la constancia de la frecuencia de los alelos en una población en equilibrio, cuando no es afectada por migraciones o mutaciones.

Otro concepto destacable en la genética de poblaciones es la eficacia reproductiva, al respecto Bowler (1985) plantea que pequeños cambios en la eficacia reproductiva podrían causar cambios drásticos en la frecuencia de genes en pocas generaciones, esta concepción influirá en trabajos posteriores como el de **J.B.S.Haldane (1892- 1964)**, quien con sus trabajos matemáticos relacionados con la frecuencia de genes en una población, defenderá la preponderancia de la selección natural como causa evolutiva lo que también sería apoyado por el contemporáneo de Haldane, el genetista y estadístico **Ronald Fisher (1890-1962)**. Este último defendió que gran parte de la variación continua se debe a la acción combinada de genes de baja actividad fenotípica y no al ambiente (Sánchez, A. 2012).

Por otra parte, **SewallWright** aunque compartía la metodología y epistemología de las investigaciones evolutivas basadas en la genética de poblaciones, (la cual considera que las poblaciones de organismos se pueden estudiar como poblaciones de genes), al contrario de Fisher, sugería que los genes no actuaban como entidades separadas sino que interactuaban entre ellos originando el fenómeno de epistasis²¹.

En este contexto Wright retoma y modifica el concepto de paisaje adaptativo introducido por Fisher, para visualizar las relaciones de los genotipos y/o fenotipos con el éxito reproductivo (aptitud o eficacia biológica).

Mientras que para Fisher el paisaje adaptativo solo tenía un pico, en el de Wright se encuentran montañas con diferentes alturas, las más altas muestran picos y entre ellas se encuentran valles. La altura de la montaña representa la aptitud del genotipo, y dependiendo de las condiciones iniciales y la composición genética, la población alcanzará con mayor probabilidad los picos adaptativos más accesibles o cercanos, partiendo de los de menos aptitud es decir los valles. Es importante aclarar que no hay

²¹Interacción génica no aditiva entre diferentes genes para una característica, es decir la acción de un gen se ve modificada por la acción de uno o varios genes. (N. del A.).

una tendencia general de la especie o población a alcanzar el pico más alto, ya que existen muchas soluciones locales. En este modelo hay varios mecanismos de evolución, no sólo la adaptación por selección natural es lo más preponderante, sino también la deriva genética, extinción y la división en subpoblaciones o demes (Andrade, 2009).

Así pues, en este contexto se dio un amplio consenso entre las dos corrientes de biólogos: naturalistas darwinianos y genetistas en lo que se conoció como la síntesis evolutiva o teoría sintética de la evolución, o simplemente síntesis moderna y que consistió en el acuerdo entre diferentes ramas de la biología como la sistemática, paleontología y genética entre otras, para explicar la evolución biológica desde presupuestos neodarwinistas.

Según Sánchez, A. (2012), las obras más importantes que consolidaron la síntesis moderna, las cuales se analizarán brevemente, fueron:

- *Evolution: The Modern Sintesis*(1942), de Julian Huxley
- *Genetics and the Origin of Species* (1937), de Teodosius Dobzhansky.
- *Systematics and the Origin of Species* (1942), de Ernst Mayr
- *Tempo and Modo in Evolution* (1944), de George Gaylord Simpson.

La genética evolucionista de **Teodosius Dobzhansky (1900-1975)** tiene como sustento teórico el estudio las variaciones desde el paradigma de la adaptabilidad de las especies a los entornos cambiantes, cuya fuente de variabilidad en la población son los individuos heterocigotos.

Así pues, Dobzhansky explica la aparición de las especies de la siguiente manera: en poblaciones suficientemente pequeñas la deriva genética empuja, a los grupos diferenciados, hacia los diferentes picos adaptativos de su paisaje geográfico y ecológico. Este movimiento es ayudado por mecanismos externos de aislamiento, como las barreras geográficas. El aislamiento genético acabará sellando la variabilidad de unos

grupos respecto a otros, dando lugar a la especiación de tipo alopátrico²² (Dobzhansky, 1980, citado por Sánchez, A. 2012).

Por otra parte, **Ernst Mayr (1904-2005)**, ornitólogo, sistemático, biogeógrafo y teórico de la biología, utilizando la metodología propia de los naturalistas (a diferencia de Dobzhansky que era genetista), propone el famoso concepto biológico de especie²³ más allá de su connotación biológica. Mayr consideraba a las especies como entidades reales con distribuciones biogeográficas reales y que son modificadas en gran parte por la selección natural, desde el mecanismo alopátrico principalmente, coincidiendo en este punto con Dobzhansky.

En este contexto, **George Gaylord Simpson (1902-1984)** desde su paleontología evolucionista intentó resolver un problema que aún sigue sin resolverse completamente y es el de la macroevolución, es decir procesos evolutivos que generarían no solo cambios en las frecuencias génicas de las poblaciones sino aparición de especies y otros grupos taxonómicos superiores. El problema de la macroevolución, entre otras cosas, se evidencia por lo enormemente fragmentario e incompleto que es el registro fósil y que hace que sea muy difícil encajar la idea de una evolución gradual y continua con la evidencia paleontológica. Sin embargo Simpson, concertando apropiadamente una serie de fuerzas evolutivas como la deriva genética, las migraciones, las mutaciones, la recombinación y la selección natural, construyó un modelo de evolución con varios modos y ritmos de cambio, tratando de encajar en él la información del registro fósil y la de los grandes grupos taxonómicos, proponiendo sus famosos tempos evolutivos lento, medio y rápido que causarían los siguientes procesos evolutivos respectivamente: anagénesis (no especiación), cladogénesis (especiación gradual) y la evolución cuántica o de taxones superiores, logrando así integrar la paleontología a la síntesis moderna, al menos de una manera más o menos aceptable.

²² Especiación por aislamiento geográfico. Al quedar aisladas dos poblaciones por una barrera geográfica es posible que queden en condiciones ambientales diferentes, y que varíen en consecuencia de una manera diferente, a tal punto que después de un tiempo, ya no pueda haber entrecruzamiento entre ellas quedando aisladas reproductivamente, y por tanto dando lugar a dos especies diferentes (*N. del A.*).

²³ La especie es definida como una población o un conjunto de estas que puede real o potencialmente generar descendencia fértil y que está aislada reproductivamente de otros grupos semejantes (*N. del A.*).

Con todo este soporte teórico, la síntesis moderna se consolidó en el congreso de Princeton, en el que especialistas de numerosas ramas de la biología adoptaron un núcleo teórico y metodológico común para continuar sus estudios evolutivos, el cual se puede resumir en los siguientes puntos:

- La evolución biológica es de naturaleza gradual hasta el punto que muchos fenómenos macroevolutivos podrían explicarse en términos microevolutivos, es decir pequeñas mutaciones en los genes podrían acumularse hasta dar fenómenos de especiación e incluso de aparición de taxones superiores.
- La más preponderante causa de cambio y diversificación biológica es la selección natural que hace que la mayoría de las características de las especies tengan un valor adaptativo.
- El aspecto poblacional del origen de la diversidad.
- La variación genética surge por azar debido a las mutaciones puntuales o, como hoy en día se conocen, errores en la replicación del ADN, también por recombinación genética durante la meiosis. Ambas variaciones se verán afectadas por el flujo genético, la deriva genética y la selección natural, dando como resultado la evolución, entendida como cambio de frecuencia alélica en una población en el tiempo, es decir entre generaciones.

1.1.6 Desafíos a la Síntesis Moderna y el Neodarwinismo

En este apartado se hará una revisión epistemológica de algunas teorías científicas concernientes a la evolución biológica que desafían o complementan en algunos casos lo propuesto por la síntesis moderna y que, como se verá en el siguiente capítulo, poco se tienen en cuenta en los currículos o libros de texto de biología. Éstos en la mayoría de los casos únicamente, y de una manera hegemónica, solo tienen en cuenta algunos aspectos muy puntuales del desarrollo histórico-epistemológico de las teorías evolutivas y casi siempre a manera de conclusión llegan a un consenso a favor de lo propuesto en la teoría sintética de una manera simplista y casi ortodoxa. En este orden de ideas, las

teorías que se revisarán son: **La endosimbiosis, la evo-devo, la evolución modular y los equilibrios puntuados**. Dichas teorías evolutivas se contextualizarán en dos grandes fenómenos evolutivos como son: la **aparición de la célula eucariota** y la de los **metazoos bilaterales**.

1.1.6.1 La endosimbiosis como motor evolutivo y el origen de las células eucariotas.

La edad de la Tierra se ha estimado en unos 4.500 millones de años y se cree que las bacterias, organismos procariotas²⁴, aparecieron unos 600 millones de años después, luego de que el planeta se enfriara y cesara la lluvia de meteoritos que caía sobre la Tierra. Las bacterias fueron las únicas pobladoras del planeta durante los siguientes 2000 millones de años, es decir un poco más de la mitad de la historia de la vida en la Tierra (Sampedro, 2007). Luego, hace unos 1800 millones de años, aparecieron los primeros eucariotas según la descripción de la microflora fósil de Gunflit (Canadá) (Tyler, 2003). Teniendo en cuenta estos hechos, uno de los acontecimientos más relevantes en la evolución biológica sería la aparición de los eucariotas, cuyo origen se pensaba hasta los años 1960 había sucedido por un proceso gradualista y neodarwiniano, es decir por la acumulación de pequeñas variaciones en las células procariotas.

En este contexto apareció una idea diferente acerca del origen de la célula eucariota, propuesta por **Lynn Margulis (1938-2011)**, que plantea que la aparición de los eucariotas se debió a un proceso de unión simbiogénica²⁵ entre tres o más bacterias distintas o cuatro en el caso de las células vegetales. Es decir que el proceso evolutivo de la aparición de las células eucariotas se debió a la unión de las características de diferentes bacterias y no a los cambios graduales como lo proponían las corrientes neodarwinistas y su causa última era la simbiogénesis y no la acción de la selección

²⁴Procariotas entre los que se cuentan las arqueobacterias y bacterias se caracterizan por no tener núcleo, ni tampoco organelos como las mitocondrias o los cloroplastos que si se encuentran en las células eucariotas como las que constituyen organismos unicelulares como protozoos o multicelulares como hongos, plantas y animales (*N. del A.*).

²⁵ La simbiosis se refiere a la relación estrecha entre dos o más organismos de diferentes especies, no obstante la simbiogénesis supone una adaptación mutua entre los simbiotes de la cual emergen características heredables, por la transferencia horizontal de la totalidad o parte del material genético, lo que conduciría a novedades biológicas evolutivas, como el surgimiento de una nueva especie (*N. del A.*).

natural, la cual actúa después de formada la nueva entidad biológica, ajustándola y adaptándola al ambiente (Sampedro, 2007).

Margulis llegó a estas conclusiones a finales de la década de 1960, a través del estudio de la estructura de las células. Las mitocondrias, por ejemplo, son cuerpos enroscados que generan la energía necesaria para el metabolismo y Margulis se percató de que se parecían notablemente a las bacterias. Científicos anteriores a ella habían notado esta semejanza, desde el descubrimiento de las mitocondrias en las postrimerías del siglo XIX; algunos científicos como Merezchkovsky en el siglo XIX y Wallin a principios del siglo XX ya habían sugerido que las mitocondrias se originaron a partir de bacterias que vivían en una simbiosis permanente dentro de las células de los animales y las plantas. En las células vegetales había ejemplos análogos. Las células de las plantas y de las algas tienen un segundo conjunto de organelos que utilizan para realizar la fotosíntesis, los cloroplastos, que capturan la energía que reciben de la luz del sol, haciendo posible las reacciones bioquímicas, incluida la combinación de agua y dióxido de carbono para constituir materia orgánica. Los cloroplastos, al igual que las mitocondrias, se parecen notablemente a las bacterias, en especial a las cianobacterias.

Según Sampedro (2007), las evidencias que soportan esta teoría son:

- Muchos genes eucariotas analizados por científicos muestran grandes similitudes con ciertas bacterias.²⁶
- Las mitocondrias y cloroplastos transmiten características hereditarias independientemente del núcleo.
- Las mitocondrias de los eucariotas como los cloroplastos contienen fragmentos de ADN cuya organización es semejante a la del ADN de los organismos procariotas.
- Organelos celulares como cloroplastos, bacterias, núcleo e incluso cilios y flagelos tienen similitudes morfológicas y en su biología molecular con diferentes bacterias.

²⁶ “A principios del presente milenio, cuando se anunció la secuencia del genoma humano fue una sorpresa que cerca de 250 genes de los más de 30.000 genes humanos procedían directamente de bacterias” (Margulis, 2003. p 116-117).

Según esta teoría, la aparición de la célula eucariota no fue gradual y mediada por la selección natural, es decir por minúsculos y lentos cambios en un organismo procariota que le dieron más adaptación al ambiente hasta formar una célula eucariota, como lo propondría el neodarwinismo ortodoxo. En contraste, la fuerza evolutiva que produjo a los eucariotas fue la endosimbiosis, es decir la suma de las funciones y morfología que aportaron bacterias completas y anteriormente existentes, y que hicieron que emergiera una nueva entidad con propiedades que son más que la suma de sus partes (sinérgica) y que dio origen a las células eucariotas. No obstante luego de formarse la primera o primeras eucariotas, seguramente la selección natural jugo un papel en el ajuste de éstas a su ambiente.

En cuanto al peso que le da Margulis a las mutaciones, éste es mínimo. Según ella, el 99% de las mutaciones son dañinas, no es factible que el restante 1% sea significativo. Ella argumenta que el origen de las especies se debe a la simbiogénesis o adquisición de genomas ajenos (Margulis, 2003).

El debate al respecto de si la endosimbiosis entra en conflicto profundo con las bases del darwinismo está abierto, a pesar de que la teoría de Margulis tiene amplia aceptación en los círculos científicos, en relación a esto Torres (2004), considera lo siguiente:

“El fenómeno de simbiosis no entra necesariamente en conflicto con el mecanismo darwiniano de selección natural, pues a través de ella los participantes mejoran su adaptación al medio y aumentan sus probabilidades individuales de supervivencia. De acuerdo con esta interpretación, la simbiosis constituye una estrategia más en la lucha por la existencia. Sin embargo, en años recientes se ha considerado la posibilidad contraria, de que la simbiosis ocupe el lugar central de la biosfera y que la lucha por la existencia sea en realidad un mecanismo subordinado, correspondiente al periodo experimental de ajuste entre organismos, preludio de simbiosis futuras en los casos afortunados” (Torres, 2004, p. 40).

Existen otras teorías que a pesar de que han perdido poder explicativo frente a la teoría de Margulis, pero es importante tenerlas en cuenta, según Sánchez, C. (2000):

Raff&Mahler (1972), señalan que las mitocondrias se originaron a partir de invaginaciones de la membrana celular interna, que primero formaron vesículas

respiratorias unidas por membranas. Estas vesículas se convirtieron en mitocondrias mediante la adición de un plásmido²⁷ con ADN procedente de otro procarionta y capaz de sintetizar proteínas. Mahler (1972), en concreto, rechaza que los flagelos y el aparato mitótico procedan de microorganismos simbiotes y considera que tanto la síntesis de las proteínas dirigida por el núcleo como la síntesis proteica dirigida por las mitocondrias, así como otras actividades metabólicas se deben a presiones selectivas divergentes.

Bogard en 1975 para explicar el origen del núcleo eucariota y el ADN contenido en los plástidos y en las mitocondrias. Este autor considera que todo el ADN de las células eucariotas se encontraba originalmente en el área nuclear, rodeado quizás por una membrana nuclear común y posteriormente se separaron bloques de genes procedentes del protonúcleo y se rodearon de sus propias membranas, con lo cual se formaron los plástidos y las mitocondrias.

Según Carl Woese (1980), el antepasado común de todos los seres vivos sería una unidad viviente capaz de realizar transcripción y traducción genética, a la que denominó protobionte o progenote. A partir de este primitivo ser vivo surgieron evolutivamente diferentes modelos de células procariotas, que luego darían lugar a la aparición de las eucariotas.

Cavalier-Smith (1987), formula su propia versión sobre la teoría simbiótica, según la cual, las mitocondrias y los cloroplastos se originaron solo una vez y no varias, a partir de bacterias fotosintetizadoras no sulfurosas y cianobacterias respectivamente y la conversión de las nequibacterias (bacterias gram negativas entre las eubacterias) a mitocondrias y cloroplastos no ocurrió de modo serial en tiempos separados. No obstante, Cavalier-Smith en 1996 realiza una revisión de todas estas hipótesis y considera como posibles las teorías endosimbióticas secuenciales.

²⁷Plásmido: moléculas de ADN extracromosómico lineal o circular que se replican y transcriben independientemente del ADN cromosómico.

1.1.6.2 Evo-devo, evolución modular, equilibrios puntuados y el origen de los metazoos²⁸ bilaterales

Como se vio en el apartado 1.2.4.3, el estudio evolutivo de los embriones tuvo relevancia para los filósofos naturales, igualmente fue relevante para Geoffrey de Saint-Hilaire y el mismo Darwin entre otros naturalistas (apartados 1.2.4.4. y 1.2.4.6) lo que se podría llamar los principios de la teoría evo-devo²⁹, en la que se establecieron profundas relaciones entre el desarrollo de los individuos u ontogenia y la historia evolutiva de las especies o filogenia. Desafortunadamente, estas propuestas cayeron en descredito cuando se hicieron evidentes muchos de las imprecisiones que tenía la propuesta de Haeckel con su famosa ley biogenética³⁰, como también por la exagerada acogida que tuvo la síntesis moderna. En la segunda mitad del siglo XX, los biólogos evolutivos habían concentrado sus esfuerzos en los florecientes campos de la genética y biología molecular y los embriólogos se enfocaron en comprender los mecanismos de desarrollo embrionario pero sin correlacionar estos descubrimientos con aspectos evolutivos.

Stephen Jay Gould (1941-2002) en su notable libro *Ontogenia y filogenia*, a través de una revisión epistemológica, documenta los estudios que relacionaron desarrollo embriológico y evolución pero también rescata a través de variados ejemplos que existe mucha evidencia para retomar la investigación evolutiva basándose en el desarrollo embriológico de los organismos. A este respecto resaltó el proceso de heterocronía³¹ que puede variar desde la pedomorfosis, proceso en el que el desarrollo del individuo se vuelve lento haciendo que éste no alcance las etapas finales del desarrollo lo que da como consecuencia una condición neoténica, es decir, un adulto que conserva rasgos juveniles hasta bien entrada la madurez. La heterocronía también incluye las adiciones terminales que son el proceso en el que los individuos aceleran su desarrollo y como consecuencia las etapas más tempranas del desarrollo se volverán más cortas, es decir sería lo opuesto a la pedomorfosis. En cualquiera de los dos casos, estos cambios que

²⁸ Metazoos, animales compuestos por muchas células eucariotas bien organizadas en tejidos especializados (N. del A.).

²⁹ Evo-devo, iniciales de evolutionary and developmentbiology o biología evolutiva del desarrollo (N. del A.).

³⁰ Ley biogenética en la que se plantea que de manera drástica la ontogenia recapitula la filogenia (N. del A.).

³¹ Comprende todos los cambios en el ritmo del desarrollo embriológico que causan cambios en la forma y tamaño de los organismos (N. del A.).

se observan dentro de la ontogenia de los individuos no son graduales, y producen severos cambios en la filogenia de las especies, en contraposición a lo planteado en la visión neodarwinista en la que pequeñas mutaciones son las responsables del cambio evolutivo de una manera gradual.

En este orden de ideas, la evo-devo propone un cambio abrupto y paradigmático en el entendimiento de la teoría evolutiva, ya que cuestiona la importancia de las mutaciones genéticas puntuales como responsables del cambio evolutivo, y en su lugar propone que los cambios que suceden en el organismo, tanto en su ontogenia como en su filogenia, no necesitan de una acumulación de mutaciones azarosas, sino que podrían suceder por los cambios en un conjunto de genes relativamente pequeño implicados en el desarrollo embrionario, llamados genes *hox*³² los cuales existen en animales de simetría radial diploblásticos³³ tanto como en los de simetría bilateral triploblásticos³⁴. En los primeros dichos genes no presentan el fenómeno de colinearidad³⁵ y por lo general son tres genes *hox*. En los bilaterales los genes *hox* son más de ocho, y presentan el fenómeno de colinearidad (Sampedro, 2007).

A pesar de que existe amplio consenso en que los bilaterales evolucionaron de un ancestro de simetría radial, la explicación de cómo se pudieron dar los cambios entre los

³²“Los genes *Hox* regulan múltiples aspectos del desarrollo embriológico en seres vivos como el hombre y la mosca. Son sistemas genéticos de control del desarrollo biológico muy conservados en la evolución, se consideran una auténtica piedra Rosetta en este campo de la investigación. Los genes *Hox* forman una familia génica que codifica para factores de transcripción del desarrollo. Se agrupan en un clúster o conjunto de genes que es el resultado de la duplicación en tándem de un gen primordial. Se ordenan de manera lineal y consecutiva en el genoma, en un patrón genético que refleja a su vez el orden de expresión temporal y espacial, y son genes que determinan la posición de diferentes órganos y estructuras (cabeza, cola, extremidades, etc.) en animales con simetría bilateral. Muchas de las diferencias que observamos en la morfología de los metazoos son el resultado de cambios en el número, regulación y zonas de expresión de los genes *Hox*, así pues estudiar su historia evolutiva, es un punto clave para entender y reconstruir la evolución de los planes corporales bilaterales en el árbol filogenético de los metazoos” (Chaves, 2010, p.160)

³³Organismos diploblásticos en contraste con los triploblásticos solo poseen dos capas germinales, el endodermo y el ectodermo, no tienen mesodermo. (N. del .A.).

³⁴ Los organismos triploblásticos poseen tres capas germinales embrionarias, ectodermo, mesodermo y endodermo que dan origen a todos los tejidos y órganos adultos, esta configuración es característica de casi todos los animales actuales. (N. del .A.).

³⁵ Colinearidad: “El orden de los genes *Hox* en el cromosoma es el mismo que el orden de las partes del cuerpo que cada gen define. A la izquierda los genes que especifican la cabeza, en el centro los del tronco y a la derecha los del abdomen” (Sampedro, 2007, p. 121)

animales radiales diploblásticos y los bilaterales triploblásticos está siendo ampliamente discutida. Se han propuesto hipótesis que tienen que ver con fenómenos de desplazamiento y alineamiento de los genes *hox* como también de sucesivas duplicaciones de estos, lo que explicaría la aparición del fenómeno de colinearidad como también la aparición de la tercera capa embriológica en los bilaterales. No obstante todavía no hay un consenso acerca del mecanismo de cambio evolutivo que permitió el surgimiento de los metazoos bilaterales, al respecto Baguñá, et al. (2007) enfatiza diciendo:

“La mayoría de los datos morfológicos, embriológicos, paleontológicos y moleculares indican que estos organismos aparecieron hace unos 570 millones de años, a partir de ancestros más simples con simetría radial, radiando explosivamente durante el período Cámbrico. La transición entre radiales diploblásticos y bilaterales triploblásticos es aún el enigma más importante que tiene planteada la evolución. ¿Cómo se originaron los ejes anteroposterior y dorsoventral, la simetría bilateral y el mesodermo a partir de organismos con un solo eje axial, varios planos de simetría y dos hojas embrionarias?” (Baguñá, 2007, p. 34).

Sin embargo, así aun no haya claridad del mecanismo que permitió la aparición de los animales bilaterales, se sabe que una vez establecidos los genes *hox* en los animales bilaterales, éstos indicaran a las células, y por consiguiente a los tejidos, si forman parte de la cabeza, el tórax y el abdomen y en la actualidad están muy bien identificados, no sólo en invertebrados como la mosca de la fruta, sino también en muchos vertebrados, incluidos los humanos, lo que explicaría que a pesar de la gran biodiversidad de animales bilaterales todos guardan un plan corporal similar y por lo tanto un origen evolutivo común.

Por lo tanto, si los cambios genéticos suceden en unos pocos grupos de genes controladores y generan grandes cambios en las especies que pueden ser rastreados desde el estudio ontogénico, no se precisa de nuevos genes para que surjan nuevas especies. Es decir a partir de unos cuantos genes puede emerger una gran variedad de formas de vida, lo que podría explicar entre muchas curiosidades biológicas como por ejemplo el por qué si con los chimpancés los humanos comparten gran parte del genoma, las dos especies son conspicuamente diferentes. A esta nueva concepción de la dinámica evolutiva se la conoce también como **la evolución modular** y que básicamente es una ampliación de lo que propone la evo-devo, es decir que la variación evolutiva está dada por cambios completos en módulos que se duplican, alteran, o

cambian de posición dando lugar a grandes cambios fenotípicos en los individuos, sobre todo si estos módulos son alterados en momentos claves del desarrollo embrionario.

Otra consecuencia clave del entendimiento de la dinámica modular de la evolución sería el explicar **los equilibrios puntuados o intermitentes** propuestos por Eldredge y Gould (1977), teoría que plantea que al contrario a lo propuesto por el gradualismo darwiniano y neodarwiniano, los cambios evolutivos pueden suceder con relativa rapidez (en tiempo geológico) y que existen otros periodos de tiempo en los que las especies son relativamente estables (estasis), esto explicaría lo discontinuo del registro fósil que no es congruente por lo planteado por el gradualismo y que el mismo Darwin ya había visto como una de las dificultades de su teoría. Si la evolución modular produce cambios abruptos en las especies, esto podría ser compatible con la evidencia fósil y con la teoría de los equilibrios puntuados.

Desde la perspectiva del evo-devo, la evolución modular y los equilibrios puntuados, se podría explicar otro gran hito en la evolución después del surgimiento de la célula eucariota (ver apartado 1.2.6.1.) que sería el **origen de los metazoos bilaterales**, es decir todos los animales que tienen un eje anteroposterior bien definido y dos mitades derecha e izquierda muy similares (imágenes especulares una de la otra). A tal simetría pertenecemos todos los cordados, y la mayoría de phyla de invertebrados como los artrópodos (el grupo más abundante de animales). En conjunto los metazoos bilaterales constituyen el 98% de los animales (Baguña et al., 2007).

Según Sampedro (2007), hubo una aparición súbita de casi todos los bauplanes (planes corporales de diseño animal de prácticamente todos los animales que existen o han existido) hace unos 530 millones de años, en lo que se conoce como el periodo geológico del cámbrico, por lo que ha este fenómeno se lo conoce como la explosión del cámbrico. Antes de esta bien marcada línea geológica, la mayoría de fósiles que se encuentran corresponden a microorganismos. No obstante, se ha encontrado fósiles de metazoos que datan de hace 600 millones de años, es decir 70 millones de años antes de la explosión cámbrica, pero que en vez de tener simetría bilateral poseían simetría radial, es decir tenían forma de disco como las actuales anémonas, hidras y medusas. Igualmente se ha encontrado una rica colección de fósiles de por lo menos 30 millones de años antes del cámbrico, la llamada fauna Ediacara.

Sampedro (2007), basado en una revisión de aspectos evolutivos sobre el origen de los metazoos bilaterales estudiados por muchos expertos en diferentes áreas, resalta que el antecesor de todos los bilaterales es *Urbilateria* (un organismo que vivió hace 550 millones de años) y poseía las siguientes características: bilateralidad, era triploblástico y parece ser que tenía una fila de genes *hox* que presentaban el fenómeno de colinearidad, estas tres características son comunes a todos los animales bilaterales actuales. Igualmente resalta que este organismo apareció en tan solo 2 millones de años, es decir que únicamente 2 millones³⁶ de años antes de la aparición de *Urbilateria* únicamente existían organismos diploblásticos de simetría radial parecidos a las hidras actuales. En este contexto, Sampedro (2007) propone que la aparición de *Urbilateria* se debió a cambios en los genes *hox* que también los poseen los diploblásticos radiales parecidos a las hidras, dichos cambios podrían incluir una o varias duplicaciones de estos genes, lo que en principio pudo haber originado la triploblástia y luego la gran explosión de los diferentes animales en el cámbrico sobre un mismo bauplan³⁷, el cual es muy similar en todos los animales bilaterales a pesar de que a primera vista luzcan muy diferentes. Evidencia de las posibles duplicaciones de estos genes podría ser que en muchos animales actuales existe el fenómeno de metamerismo³⁸. En suma la aparición del primer metazoo bilateral que dio origen a los demás animales sucedió por un fenómeno de evolución modular relacionado con cambios en genes *hox* que, a su vez, dio lugar a cambios embriológicos drásticos (ontogénicos) que con el tiempo se derivaron en procesos filogenéticos.

Para finalizar este apartado y a manera de síntesis en el siguiente cuadro se hace un paralelo de los principales aspectos de las diferentes teorías evolutivas analizadas en este capítulo.

³⁶ A pesar de que esta datación sea provisional o incorrecta, si fuera 10 veces más o hasta 100 veces más lo que ya sería un error absurdo seguiría siendo un breve periodo de tiempo para un cambio morfo-fisiológico tan abrupto como el de pasar de seres diploblásticos de simetría radial a organismos triploblásticos de simetría bilateral que constituyen el bauplan de casi todos los animales que han vivido en la Tierra (Sampedro, 2007).

³⁷ El bauplan o plan corporal es un concepto que da cuenta de la disposición de tejidos, órganos, sistemas, segmentos y simetría de un animal (N. del .A.).

³⁸ Metamerismo: un sector del cuerpo se repite varias veces, como por ejemplo las vértebras de la columna de muchos cordados, o los segmentos de los artrópodos (el ciempiés), estas repeticiones de varios segmentos de genes podrían estar controladas por genes *hox* que se duplicaron también, lo cual también es congruente con el fenómeno de colinearidad (N. del A.).

Tabla 5. Paralelo epistemológico entre las teorías evolutivas

Aspectos Teorías evolutivas	Carácter externo/ interno ³⁹	Relaciones ontogenia /filogenia	Relaciones temporales: gradualismo /saltacionismo	Importancia de la selección natural en el proceso evolutivo
1.La propuesta de Darwin	Externalista: La selección natural como una fuerza evolutiva externa.	La evolución como proceso embriológico dirigido hacia una mayor diferenciación.	Gradualista: Los cambios evolutivos suceden de manera gradual y acumulativa.	La selección natural es la causa más importante del cambio evolutivo
2.Neodarwinismo y Síntesis Moderna	Externalista: La selección natural como la única fuerza evolutiva externa.	No tomo en cuenta las relaciones entre ontogenia y filogenia.	Gradualista	El único motor de cambio es la selección natural.
3.Endosimbiosis como motor evolutivo	Internalista: resalta las interacciones de los organismos en su proceso evolutivo.	No descarta relaciones entre la ontogenia y filogenia.	Saltacionista: Las simbiosis causan saltos en la aparición de las especies.	La selección natural es responsable únicamente del ajuste fino de los organismos a su entorno
4.Evo-devo	Internalista: Los genes reguladores son indispensables en los procesos de autoorganización	Su eje central de explicación evolutiva son las relaciones entre ontogenia y filogenia.	Saltacionista: Igual como aparecen novedades en la ontogenia de una manera no gradual de la misma manera pueden aparecer en la filogenia de las especies.	La selección natural es responsable únicamente del ajuste fino de los organismos a su entorno.
5.Evolución modular	Internalista: Desde la dinámica de los módulos genéticos	La ontogenia y la filogenia se relacionan desde el cambio de módulos genéticos.	Saltacionista: debida a los cambios abruptos en los módulos controladores del desarrollo.	La selección natural es responsable únicamente del ajuste fino de los organismos a su entorno.
6.Equilibrios puntuados	Internalista: En relación con condiciones medioambientales los organismos pueden evolucionar con rapidez o permanecer en periodos de estasis	Considera importante las relaciones ontogenia y filogenia para explicar las especiaciones y los periodos de estasis.	Saltacionista: los cambios evolutivos pueden suceder con relativa rapidez y existen otros periodos de tiempo en los que las especies son relativamente estables (estasis), esto explicaría lo discontinuo del registro fósil	La dinámica interna de los organismos es la responsable del tempo evolutivo interrumpido (Equilibrios puntuados), no obstante la selección natural puede ser importante en el ajuste fino de los organismos al ambiente.

³⁹La visión internalista proviene de una larga tradición biológica más próxima a disciplinas como la biología del desarrollo, la fisiología y la biología teórica. La evolución, desde este punto de vista, más que como un “mecanismo” generador de orden, se interpreta como un proceso dinámico, orgánico, que emerge de la organización biológica, que puede tener dos puntos de vista: La dinámica interna del organismo desde su composición interna (es el caso de las teorías evolutivas 4 y 5) y el internalismo como la dinámica de los organismos con su entorno (teorías evolutivas 3 y 6). En contraste el externalismo promueve una concepción atomística de las formas de vida en la que las relaciones funcionales internas entre las partes, aunque no ignoradas, son relegadas a un papel secundario. Así, sugiere que toda forma, es en principio, posible, por lo que en este contexto la teoría de la selección natural proporcionó un “mecanismo” que permitía explicar la sorprendente funcionalidad adaptativa de la vida (teorías evolutivas 1 y 2). (García, 2005).

2. La didáctica de la evolución biológica desde una visión Contemporánea

“Siempre que enseñes, enseña a la vez a dudar de lo que enseñas”. (José Ortega y Gasset).

Este capítulo abordará para qué y cómo enseñar la evolución biológica (EB), teniendo en cuenta las diferentes teorías científicas que proponen explicarla, las cuales se revisaron en el capítulo anterior. En este orden de ideas se revisarán dos aspectos para lograr este objetivo: primero la importancia de la enseñanza de la EB haciendo énfasis en lo epistemológico en relación al estado actual de la enseñanza de la EB desde los currículos (estándares básicos), libros de texto, revistas especializadas (en el contexto colombiano e internacional). En segunda instancia se hará la propuesta de utilizar la didáctica basada en la indagación como herramienta para enseñar la EB con énfasis en la epistemología. Lo anterior enmarcado en la enseñanza de la EB más allá de los presupuestos dados por el neodarwinismo y la síntesis moderna.

2.1 La importancia de la enseñanza de la evolución biológica

La enseñanza de la EB, ha sido polémica prácticamente desde que se validó la enseñanza de las ciencias en las escuelas, diversas posiciones culturales desde lo político, filosófico y religioso han puesto límites y objeciones a su enseñanza, por razones de diferente índole (Buskes, C. 2009, citado por Araujo y Roa, 2011). La EB ha trascendió el ámbito puramente científico para adentrarse en lo filosófico, lo que causa un debate no sólo ideológico, sino también político-religioso (Araujo y Roa, 2011). Teniendo en cuenta lo expuesto, el entendimiento de la EB por parte de los estudiantes y del público en general es de gran importancia para el desarrollo intelectual de los pueblos, no

solo en el ámbito científico sino en muchas esferas del conocimiento intelectual, dado su carácter interdisciplinar.

En cuanto a lo que respecta al aprendizaje de la biología en el ámbito escolar o científico, la evolución biológica en diálogo con otros conceptos estructurantes de la biología como la teoría celular, genética, fisiología etc. y de otras áreas del conocimiento como la estadística, la termodinámica, la paleontología, entre otras puede llegar a dar una comprensión adecuada del fenómeno de lo vivo que es en principio de lo que trata la biología. Este hecho ha sido tenido en cuenta en los ámbitos escolares de muchos países y la evolución como un hecho científico se ha trasladado desde los centros de investigación y universidades a los currículos de enseñanza de la educación básica y media por un proceso de transposición didáctica⁴⁰. Pero si bien se propone enseñar el hecho evolutivo, los mecanismos y dinámica de la evolución que se pretenden enseñar, parecen estar dominados hegemónicamente, por los presupuestos basados en un darwinismo simplificado y a la síntesis neodarwiniana, como lo señala Andrade,(2009) *“los programas de educación en ciencias se limitan en la mayoría de los casos, cuando tratan el tema de la evolución, a una interpretación superficial del neodarwinismo...”* (Andrade, 2009, p. 130).

2.1.1 Las teorías contemporáneas sobre la evolución biológica y su enseñanza: el estado actual

La enseñanza de la evolución desde teorías que no se ajustan a lo planteado por la síntesis neodarwinista como las planteadas en el apartado 1.2.6. y el cuadro 3, es prácticamente nula en los libros de texto de nivel de educación básica y media como en los estándares nacionales que orientan los currículos de las escuelas. Al respecto tenemos que según un estudio realizado por Chaves (2010) sobre varios libros de textos propuestos para el nivel de educación básica y media, se encontró que es muy poco el espacio que le dedican a la teoría evolutiva y lo hacen únicamente desde una postura neodarwiniana. No obstante, en este estudio se hace referencia a que en libros de texto

⁴⁰ Hacer que un conocimiento sea susceptible de aprendizaje para los legos en un tema, en este caso estudiantes. Poner un conocimiento en palabras y contexto de los estudiantes (N. del A.).

como *Biología*, (Curtis et al., 2007), el cual está dirigido a estudiantes universitarios, sí se encuentran menciones sobre otros mecanismos de evolución diferentes a los planteados por el neodarwinismo como lo son la hipótesis Evo-Devo (evolutionary and developmentbiology), los equilibrios puntuados, la evolución modular, la endosimbiosis como motor evolutivo, etc.

En cuanto a los estándares nacionales para el caso de Colombia y en particular de la biología propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), llamados *La Formación en Ciencias: ¡el Desafío!*, encontramos que se establecen las siguientes competencias que el estudiante debe alcanzar con respecto al tema de la evolución y que confirman lo expuesto en este apartado: “*Establezco relaciones entre mutación, selección natural y herencia y comparo casos en especies actuales que ilustren diferentes acciones de la selección natural...establezco relaciones entre el clima en las diferentes eras geológicas y las adaptaciones de los seres vivos*” (MEN, p.140).

La causa de que este fenómeno suceda podría estar en una visión positivista, reduccionista y hegemónica de la ciencia por parte de ciertos grupos de poder en los grandes centros científicos como en la escuela, así también a la falta de considerar que un acercamiento a la ciencia se debe dar desde las revisiones histórico-epistemológicas, las cuales hacen posible el surgimiento de nuevas teorías que en muchos casos validan o descartan la nueva evidencia con respecto al estudio de un fenómeno. Al respecto se tiene que:

“Si bien la enseñanza de la teoría evolutiva hace parte de los estándares curriculares dados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), los avances que han acaecido en las últimas tres décadas acerca de los mecanismos evolutivos no existen explícitamente como un estándar a enseñar en el área de Biología en las escuelas. Lo anterior podría ser debido a falta de una continua actualización de los programas de biología, lo cual debería ser imperante, ya que así como avanzan explicaciones de nuevos mecanismos, ritmo y factores de la evolución biológica, así mismo estos avances deberían y deben ser enseñados en la escuela” (Chaves, 2010, p.176).

2.1.2 La Enseñanza de la evolución en el panorama mundial: algunas cifras

Por otra parte las publicaciones relacionadas con la enseñanza de la evolución son escasas en las revistas especializadas en enseñanza de las ciencias. Al respecto tenemos un estudio realizado por Araujo y Roa (2011) en el que se presentan los siguientes resultados al analizar 8 revistas y 30 artículos publicados sobre el tema entre los años 2005 y 2009 en el siguiente cuadro.

Tabla 6. Distribución de publicaciones sobre enseñanza de la evolución biológica en las revistas consultadas por Araujo y Roa (2007).

No.	Revista	Origen revista	Nº de artículos enseñanza de la evolución	Cantidad de publicaciones por año (en promedio se publican de 15 a 20 artículos por año en cada revista)
1	<i>Science and Education</i>	Australia	2	2008 (2)
2	<i>Internacional Journal of Science Education</i>	Inglaterra	1	2006 (1)
3	<i>Enseñanza de las Ciencias</i>	España	7	2009 (7)
4	<i>Eureka</i>	España	1	2005 (1)
5	<i>Journal of Geoscience Education</i>	USA	1	2005 (1)
6	<i>Journal Science Teacher Education</i>	USA	1	2007 (1)
7	<i>Bioscience</i>	USA	3	2005 (1), 2007 (1), 2008 (1)
8	<i>American Biology Teacher.</i>	USA	14	2005(3), 2007 (3), 2008 (4), 2009 (4)
TOTAL			30	

Tal vez lo más preocupante que muestra este estudio no sea la poca participación del tema de la enseñanza de la evolución en las revistas analizadas, sino que los temas tratados según el estudio citado, por lo general se refieren a la reflexión e investigación de temas relacionados con la enseñanza de la herencia mendeliana y la evolución, la selección natural, la adaptación y los arboles filogenéticos, temas que si bien son de importancia caen reiterativamente en una visión únicamente neodarwinista de la evolución biológica.

2.2 La enseñanza de la evolución biológica desde una epistemología contemporánea en el marco didáctico de la indagación

En este apartado se hará, en primera instancia, una revisión de los fundamentos teóricos del aprendizaje por indagación y las profundas relaciones que tienen con el desarrollo del conocimiento científico desde lo epistemológico. En la segunda parte, se relacionarán los presupuestos teóricos del aprendizaje por indagación con la revisión epistemológica del capítulo 1, a través de una propuesta didáctica que tratará dos situaciones problemáticas de gran relevancia en la evolución biológica como lo son: el origen de la célula eucariota y el de los metazoos bilaterales, que según autores como Sampedro (2007) consideran que estas cuestiones que junto con el fenómeno de la aparición de la vida en la Tierra, están entre los hitos biológicos más importantes para ser trabajados por la ciencia. Estas situaciones problemáticas se materializarán en dos guías enfocadas a docentes de biología (ver anexos 1 y 2).

2.2.1 Fundamentos teóricos del aprendizaje por indagación y su relación con lo epistemológico

Indagar significa tratar de llegar a saber o conocer sobre un tema, una situación, una problemática, pensando cómo ha llegado a ser explicada o construida o preguntándose cómo se han construido sus versiones hegemónicas o marginalizadas. Indagar reconoce entonces recrear tiempos y espacios; roles instituidos e instituidores; procesos de enseñanza-aprendizaje; momentos de compartir y dialogar; utilización de instrumentos o herramientas para la construcción, producción y difusión de conocimientos (Hernández, 2011).

En este contexto, los estudiantes que utilizan la indagación para aprender ciencia emplean muchas de las actividades y procesos mentales de los científicos, que buscan ampliar el conocimiento humano del mundo natural. No obstante, los ambientes de aprendizaje que se concentran en transmitir a los estudiantes lo que los científicos ya conocen no promueven la indagación; por el contrario, el énfasis en la indagación exige pensar sobre lo que sabemos, por qué lo sabemos y cómo llegamos a saberlo, lo cual implica de una manera explícita la enseñanza de la historia y la epistemología de las ciencias (Vásquez, 2011).

Se puede entrever que más allá de una metodología de enseñanza, la indagación es una actitud filosófica para entender el mundo, como lo expresa Escalante (2001):

“El aprendizaje por indagación es una actitud ante la vida, en donde la misma esencia de este implica involucrar al individuo en un problema y desde esta óptica, debe aportar soluciones. Dentro del ambiente de aprendizaje, pretende que el docente ayude a los alumnos a externar todas esas grandes ideas a través de preguntas y de la indagación constante” (Escalante, 2001. p. 1).

En este sentido, confluyen la indagación como didáctica propia de la ciencia y la labor científica que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la historia, la filosofía y la pedagogía por especialistas de estas disciplinas, como también por algunos científicos insignes.

No obstante, en la enseñanza de las explicaciones científicas se debe hacer hincapié en ciertos criterios. Primero, deben ser consistentes con la evidencia experimental y observacional acerca de la naturaleza. En este sentido, las explicaciones científicas también deben ser lógicas, estar relacionadas con las reglas de evidencia, ser abiertas a la crítica, informar los métodos y procedimientos y, hacer público el conocimiento, y como se mencionó, debido a que las ideascientíficas dependen de la confirmación experimental y observacional, todo el conocimiento científico está, en principio, sujeto a cambio, conforme se encuentra disponible nueva evidencia.

En áreas donde la información o la comprensión son incompletas, tales como los detalles y dinámica de la evolución biológica, la nueva información bien puede conducir a cambios en las ideas vigentes o a resolver conflictos en curso. En situaciones donde la información todavía es fragmentaria, es normal que las ideas científicas sean incompletas, pero también es el espacio en el que pueden darse mayores oportunidades de hacer nuevos avances. Por lo tanto, para el educador es importante ir más allá del desarrollo de los conocimientos, modelos, teorías y habilidades científicas, para preguntarnos acerca de su origen histórico, de su fiabilidad, de la forma cómo se obtuvieron, si ello ocurrió con cooperación o en el contexto de una pugna conceptual, metodológica o epistemológica (Garritz, 2006).

2.2.2 Una propuesta didáctica para la enseñanza de la evolución biológica: el origen de la célula eucariota y de los metazoos bilaterales

Luego de consolidarse el neodarwinismo con la síntesis moderna, se pretendió dar explicaciones a la mayoría de cambios evolutivos en términos de gradualismo, mutación puntual y selección natural. No obstante, estas explicaciones para los fenómenos como el de el origen de la célula eucariota y el de los metazoos bilaterales no convencieron a toda la comunidad científica y esto permitió que surgieran explicaciones de estos fenómenos basadas en otras teóricas como las que se revisaron en el apartado 1.2.6. Sin embargo estas explicaciones prácticamente no han trascendido a la escuela o no han pasado por el proceso de transposición didáctica para su adecuada enseñanza. En los **anexos 1 y 2** se presentan guías⁴¹ respecto al tema, dirigidas al docente para su posible implementación en el aula.

Estos dos fenómenos biológicos son susceptibles de ser enseñados utilizando los presupuestos de la enseñanza por indagación y desde una revisión epistemológica contemporánea del concepto evolución biológica debido principalmente a que :

- Las problemas que han enfrentado los hombres de ciencia para comprender ciertos fenómenos son en ocasiones muy parecidos a los que los estudiantes enfrentan en el momento de aprender ciertos conocimientos (Viáfara, 2008). Pero tanto científicos como estudiantes pueden llegar a una aproximación de la explicación de un fenómeno si se reconoce que la ciencia es un conocimiento que está en permanente debate y construcción, y por lo tanto se puede reconocer que una indagación teórica desde lo histórico-epistemológico puede ser valiosa para comprender, enseñar y aprender acerca de un fenómeno.
- Las explicaciones tentativas que se han dado para explicar el origen de la célula eucariota y los metazoos bilaterales se han forjado resquebrajando, desafiando o complementando lo propuesto por los presupuestos ortodoxos neodarwinistas desde

⁴¹Conjunto de recursos y procedimientos que pueden aplicar los docentes y que sirven de apoyo y orientación al alumno para que avance en su aprendizaje, a través de situaciones problemáticas y tareas que garantizan la apropiación activa, crítico-reflexiva y creadora de los contenidos (N. del A.).

una indagación de las nuevas evidencias empíricas así como desde una revisión epistemológica de teorías anteriores, como fue el caso de la revisión que hizo Margulis de los planteamientos de Wallin en el siglo XX y de Merezhkovsky en el siglo XIX, otro tanto hizo Gould en su libro *ontogenia y filogenia* que en gran parte es una revisión histórico-epistemológica de las relaciones entre desarrollo embriológico y filogenia.

Los teorías de la endosimbiosis o la evolución modular entre otras, son en sí mismas parte de la historia y la epistemología de la biología en general y en particular del concepto evolución biológica, y deben ser integradas en las escuelas con el mismo estatus que se enseñan otros hitos en la historia de la biología como: la publicación del origen de las especies o el descubrimiento de la doble hélice de ADN.

3. Proyecciones y recomendaciones

Las proyecciones y recomendaciones acerca de este trabajo pueden situarse en dos aspectos. Primero, la ampliación de la revisión epistemológica con respecto a las nuevas teorías que explican la evolución biológica para hacer una trasposición didáctica de estos conocimientos con el fin de ser enseñados en las aulas. Segundo, aplicar las guías con los estudiantes y hacer un seguimiento cualitativo de los resultados en el proceso de aprendizaje.

3.1 Otras teorías contemporáneas que explican la evolución biológica

En este trabajo quedaron por fuera de revisión otras teorías contemporáneas que explican la evolución biológica y que sería recomendable que se examinaran en posteriores estudios como:

La evolución biológica y la alta probabilidad de la emergencia de la complejidad.

En los sistemas abiertos alejados del equilibrio existe una alta probabilidad de que aparezcan sistemas complejos en los que aparezca la autoorganización en diferentes niveles de complejidad debido a ciclos autocatalíticos que dan la emergencia de muchas de las propiedades que exhiben los seres vivos, entre ellas, la capacidad de evolucionar.

Lo anterior contradice la síntesis moderna, ya que ésta plantea que es muy improbable que las propiedades complejas surjan sin que actúe una acumulación de pequeños incrementos de complejidad filtrados por la selección natural. Al respecto se recomienda consultar autores como Ilya Prigogine y Stuart Kauffman.

Biosemiótica y evolución. La biosemiótica se entiende como el estudio de señales, de comunicación y de información de los organismos vivos en diferentes niveles y como éstas pueden ser interpretadas. Es una concepción que puede llevar a comprender la

evolución biológica y es un verdadero cambio en cuanto a cómo entender la evolución ya que se concebiría a los organismos vivos como agenciadores de su cambio evolutivo. Se recomienda autores como Marcello Barbieri y Eugenio Andrade

3.2 Seguimiento cualitativo de la aplicación de las guías a estudiantes

Se recomienda aplicar las guías (anexos 1 y 2) a estudiantes de diferentes grados de educación básica y media como también ha estudiantes universitarios que estén cursando biología general. Se pueden evaluar los resultados de comprensión del tema de evolución biológica haciendo un estudio cualitativo-interpretativo, éste es muy recomendable para las investigaciones educativas ya que este tipo de enfoques se indaga “lo que la gente dice, piensa, siente o hace; sus patrones culturales; el proceso y significado de sus relaciones interpersonales y con el medio. La función de este tipo de investigaciones va dirigida a describir o generar teoría a partir de los datos obtenidos” (Lerma, H. 2004). El enfoque interpretativo concibe que la realidad es múltiple, intangible y holística en donde la finalidad de la investigación es la comprensión de las relaciones internas y profundas, persiguiendo de esa manera explicaciones ideográficas (Meza, L. 2002; Cerda, H. 2003 citado por Araujo y Roa, 2007).

La guía podría aplicarse antes de abordar el tema de evolución biológica o después de haberlo visto según los estándares básicos. Sería muy interesante hacer comparativos de este estudio en ambos casos.

4. Conclusiones

De acuerdo con la revisión epistemológica realizada en este trabajo, se puede evidenciar que el concepto de evolución biológica como cambio de los organismos a través del tiempo ha estado presente en varios momentos del pensamiento occidental, conviviendo con la idea de la fijeza o inmutabilidad de las especies. No obstante, la idea de que las especies cambian con el tiempo, consolidada en el siglo XIX gracias científicos como Lamarck y Darwin, entre otros se ha convertido en un hecho científico, teniendo en cuenta que éste se debe entender como un suceso singular, observable, enunciable y constatable que además sirve como base para formular problemas y constatar hipótesis según Wittgenstein. La evolución biológica además es aceptada por prácticamente toda la comunidad científica. Sin embargo las teorías que explican la evolución biológica están en constante y controversial discusión, por esta razón posiciones que sostienen que la selección natural es el único mecanismo de la evolución entrarían en conflicto con una concepción de ciencia abierta, crítica y reflexiva que es, o por lo menos debería ser, uno de los atributos de las diferentes disciplinas científicas.

La teoría de la evolución biológica está viviendo grandes cambios conceptuales, metodológicos, ontológicos y epistemológicos que se originan por la nueva evidencia empírica obtenida acerca de los fenómenos evolutivos, como también por un cambio de pensamiento en la interpretación de la misma. En el contexto de este cambio, teorías como la evolución modular, el evo-devo, la endosimbiosis, la teoría neutralista de la evolución, la teoría de la complejidad, entre otras, están complementando o cambiando las bases de la teoría evolutiva basados en la síntesis neodarwiniana. Estos cambios son sin duda alguna sanos para el desarrollo del pensamiento científico, pero desafortunadamente todo este cuerpo nuevo de conocimientos que se está generando y la polémica que se está dando en torno a ellos, poco permea los ámbitos escolares, haciendo que los currículos escolares se tornen caducos y que solo tomen en cuenta

ciertas posiciones científicas, como ocurre cuando solo se enseña de una manera simplista y sesgada algunos aspectos de la teoría darwiniana y neodarwiniana.

Ampliar la enseñanza de la teoría de la evolución biológica, teniendo en cuenta el panorama científico tan dinámico que rodea a este concepto, podría ser posible con una propuesta didáctica basada en la indagación y que reconozca la importancia de lo epistemológico en la construcción del conocimiento científico. Lo anterior en virtud de que el conocimiento escolar científico se construye en gran parte instando a los estudiantes a preguntarse acerca del origen histórico y de la forma cómo se construyen los conceptos, teorías e hipótesis que explican o tratan de explicar un fenómeno.

A. Anexo: El origen de la célula eucariota y la endosimbiosis seriada.

PROPÓSITOS

Al finalizar esta subunidad del tema evolución, el estudiante tendrá las herramientas conceptuales y crítico-reflexivas para poder comparar algunos aspectos del mecanismo de evolución por endosimbiosis con el modelo evolutivo propuesto por el neodarwinismo y la síntesis moderna.

Igualmente el estudiante identificará algunos aspectos de la teoría de la endosimbiosis seriada como una explicación al origen de las células eucariotas.

APRENDIZAJES

- Explicar algunos aspectos de cómo se construyó la teoría de endosimbiosis seriada dentro del marco conceptual de la evolución biológica.
- Comparar algunos aspectos epistemológicos que diferencian la teoría endosimbiótica con lo propuesto por el neodarwinismo y la síntesis moderna.
- Explicar algunos mecanismos de la endosimbiosis seriada.

CONCEPTOS CLAVE

Los conceptos requeridos se encuentran en el **Capítulo 1** de este trabajo, entre los que se resaltan:

- El concepto de evolución biológica
- El desarrollo histórico-epistemológico del concepto evolución biológica
- El concepto de neodarwinismo y síntesis moderna
- El concepto de simbiosis
- El concepto de endosimbiosis seriada
- El concepto de procariota

- El concepto de eucariota

EJE PROBLEMATIZADOR

La teoría de la evolución biológica es un cuerpo de conocimientos que se ha desarrollado a través de la historia del pensamiento científico, y que como toda teoría científica, está inacabado y es susceptible de ser ampliado y modificado. En este orden de ideas, esta es la concepción que debería ser enseñada a los estudiantes sobre la evolución biológica en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales.

La teoría de la evolución biológica se ha presentado en los currículos escolares y textos desde una visión hegemónica en la que en muchas ocasiones únicamente se tienen en cuenta los presupuestos teóricos del darwinismo y la síntesis moderna.

La endosimbiosis seriada como teoría evolutiva, que explica un fenómeno tan relevante en biología como lo es el origen de las células eucariotas, en muchas ocasiones es omitida de los currículos y textos escolares.

La teoría de la evolución biológica, en diálogo con otros saberes y desde una concepción interdisciplinar, es una poderosa herramienta para la comprensión de muchos aspectos de la biología dentro de los cuales se destacan el fenómeno la aparición de los eucariotas y cuyo origen se pensaba hasta los años 1960 había sucedido por un proceso gradualista y neodarwiniano. En este orden de ideas conocer algunos aspectos fundamentales de la endosimbiosis seriada se hace relevante en el proceso de enseñanza aprendizaje de la biología. (Ver 1.1.6.1.)

A QUIEN VA DIRIGIDA

Esta guía está pensada para ser aplicada por docentes de biología en estudiantes con los que previamente se hayan trabajado los conceptos básicos de evolución biológica desde el darwinismo y el neodarwinismo, principios básicos de genética y los conceptos de célula eucariota y procarionta.

MARCO DIDÁCTICO

Esta guía está pensada para ser trabajada desde el aprendizaje por indagación con énfasis en la importancia histórico-epistemológica en la construcción de conceptos científicos (ver capítulo 2).

LA APLICACIÓN DE LA GUÍA

1. APERTURA

El docente dejará claro las diferencias entre células procariontas y eucariotas, luego se podrá hacer un sondeo de las ideas previas que tienen los estudiantes con respecto a cómo se pudieron originar ambos tipos de células. Lo anterior se puede realizar solicitando a los estudiantes pequeños escritos acompañados de dibujos.



2. DESARROLLO

2.1. Lectura introductoria guiada por el docente

La teoría de la endosimbiosis seriada

El ámbito de la ciencia se caracteriza por estar en continua renovación. En la medida de su conocimiento y de la tecnología disponible, los científicos dan posibles respuestas a las incógnitas que plantea la vida y a los procesos que la hacen posible. En este proceso de construcción del conocimiento ellos no están siempre de acuerdo. Sin embargo, es gracias a esta diferencia de criterio, posición y forma de enfrentar los problemas que la ciencia se enriquece. Vemos entonces que no hay verdades absolutas. Por ello, quienes deciden dedicar su vida a encontrar respuestas, además de inquisitivos, deben ser personas de mente abierta y gran capacidad de análisis. El tema de la evolución es uno de los que divide a la comunidad científica.

La teoría de la evolución planteada por Darwin es actualmente la más aceptada. Según él, los organismos evolucionan impulsados por tres factores: el crecimiento de las poblaciones, los cambios hereditarios ocurridos al azar y la selección natural. Para Lynn Margulis, bióloga estadounidense, el azar no es responsable de los cambios hereditarios, único punto en el que no concuerda con Darwin. Ella opina que dado que el 99% de las mutaciones son dañinas, no es factible que el restante 1% sea significativo. Margulis argumenta que el origen de las especies se debe a la simbiogénesis o adquisición de genomas ajenos, lo que también se conoce como la teoría de la endosimbiosis seriada, TES.

Según Margulis, hace dos mil millones de años se originó la célula eucariótica. En ese proceso se incorporaron a la célula procariota cianobacterias, bacterias aerobias, termoplasmas y espiroquetas. Las cianobacterias se convirtieron en cloroplastos, que hacen fotosíntesis; las bacterias aerobias se convirtieron en mitocondrias, centrales energéticas esenciales para la respiración; los termoplasmas se convirtieron en organelos fermentadores; y las espiroquetas dieron lugar a cilios y flagelos para el movimiento.

Actualmente, se considera como un hecho la incorporación de los tres primeros, y Margulis trabaja para demostrar la incorporación de las espiroquetas a la célula eucariota.

“Las bacterias que hace mucho tiempo fueron parcialmente devoradas, y quedaron atrapadas dentro de los cuerpos de otras, se convirtieron en organelos.” Lynn Margulis, Una revolución en la evolución.

Tomado de: Ciencias Naturales, nivel B. en:

http://repositorio.sistemauno.com.co/secundaria/modulos_especiales_/cien-nB-Taller-.pdf

2.2. Preguntas

1. ¿Por qué el ámbito científico puede ser muy controversial?
2. ¿Qué es una verdad absoluta? ¿Por qué no puede haber verdades absolutas en el campo de la biología?
3. ¿Qué diferencias fundamentales existirían en la explicación de Margulis y la propuesta por el neodarwinismo con respecto al origen de la célula eucariota?
4. ¿Qué papel juegan las mutaciones en el origen de la célula eucariota?
5. ¿Qué papel juega la selección natural en el origen de la célula eucariota?
6. ¿La aparición de la célula eucariota fue un proceso gradual y parsimonioso o fue un cambio abrupto y rápido?

2.3. Imágenes

A continuación el docente presentará las siguientes imágenes contextualizando y guiando a los estudiantes sobre qué es lo que representan, es decir mostrando que son una representación de algunos organismos y organelos celulares, pero sin viciar o sesgar lo que los estudiantes puedan interpretar. El docente debe tener en cuenta que las imágenes muestran las dos teorías del origen de las células eucariotas (Ver apartado 1.1.6.1.).

Imagen 1.

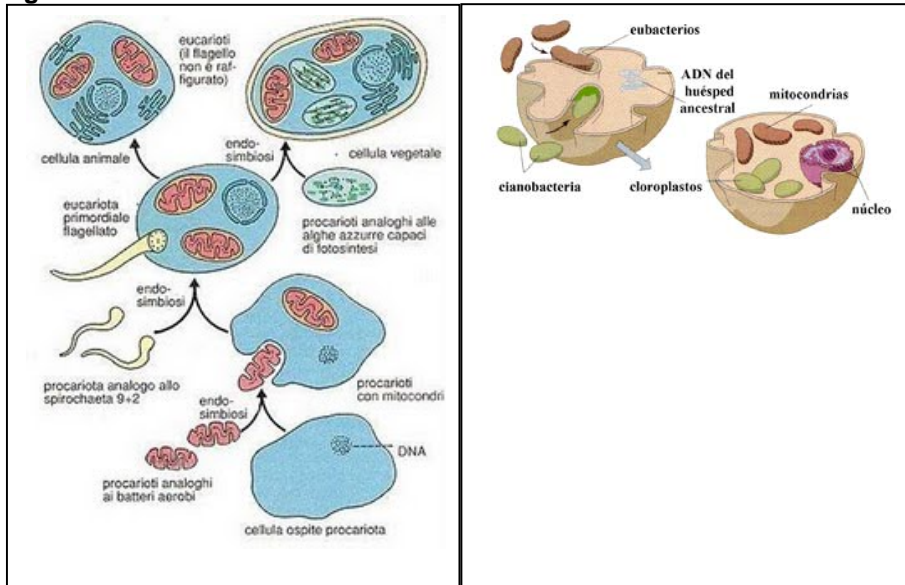
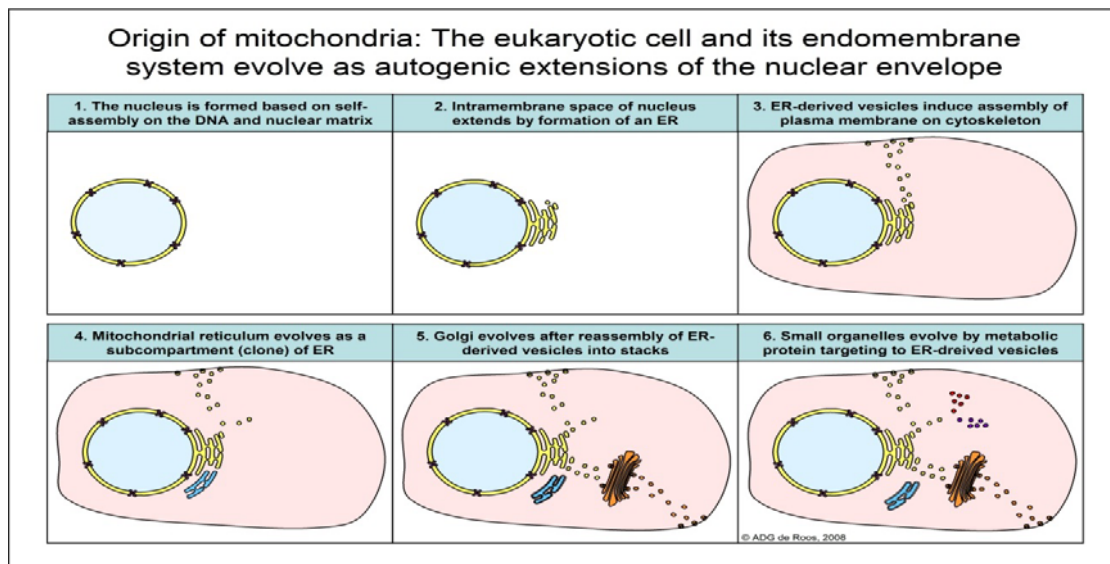


Imagen 2.



Tomadas de: <http://www.google.com.co/imgres?q=endosimbiosis+seriadahttp://naturaleslbunuel.wordpress.com>

/2011/01/26/teoria-de-la-endosimbiosis [Consulta: marzo de 2012].

2.4. Preguntas sobre las imágenes

1. ¿Qué diferencias observas entre las imágenes?
2. ¿Cuál de ellas corresponderían a la teoría de la endosimbiosis seriada y cuál a la de la evolución neodarwinista?
3. Explica las características de cada imagen como explicaciones del origen de la célula eucariota

3. CIERRE

El docente mostrará a los estudiantes los resultados de la indagación preliminar realizada en la apertura con las respuestas obtenidas después de las actividades de lectura y de interpretación de las imágenes. Se sugiere para lo anterior hacer paralelos conceptuales entre estas tres actividades.

El docente precisará algunos conceptos estudiados durante el desarrollo de esta actividad con el fin de afianzar los conocimientos construidos por los estudiantes en el proceso.

B. Anexo: El origen de los metazoos bilaterales

PROPÓSITOS

Al finalizar esta subunidad del tema evolución, el estudiante tendrá las herramientas conceptuales y crítico-reflexivas para poder comparar algunos aspectos del mecanismo de evolución por modular propuesto para explicar el origen de los metazoos bilaterales con el modelo propuesto desde las teorías neodarwinistas ortodoxas. Igualmente el estudiante identificará algunos aspectos sobre la evolución modular y la teoría evo-devo en relación al origen de los metazoos bilaterales.

APRENDIZAJES

- Explicar algunos aspectos puntuales de la teoría de la evolución modular
- Explicar algunos aspectos puntuales de la teoría evo-devo
- Comparar algunos aspectos epistemológicos sobre las teorías que explican el origen de los metazoos bilaterales.

CONCEPTOS CLAVE

Los conceptos requeridos se encuentran en el **Capítulo 1**, entre los que se resaltan:

- El concepto de evolución biológica
- El desarrollo histórico-epistemológico del concepto evolución biológica
- El concepto de neodarwinismo y síntesis moderna
- El concepto metazoo (radial y bilateral)
- El concepto ejes corporales
- El concepto capas germinales embriológicas

- El concepto de ontogenia y filogenia
- Algunos aspectos de la teoría evo-devo y evolución modular
- Algunos aspectos sobre genes Hox.

EJE PROBLEMATIZADOR

La teoría de la evolución biológica es un cuerpo de conocimientos que se ha desarrollado a través de la historia del pensamiento científico y que como toda teoría científica esta inacabado y es susceptible de ser ampliado y modificado. En este orden de ideas esta es la concepción que debería ser enseñada a los estudiantes sobre la evolución biológica en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales.

La teoría de la evolución biológica se ha presentado en los currículos escolares y textos desde una visión hegemónica en la que en muchas ocasiones únicamente se tienen en cuenta los presupuestos teóricos del darwinismo y la síntesis moderna.

Uno de los eventos más relevantes en la evolución biológica fue la aparición de los metazoos bilaterales, grupo que incluye desde artrópodos hasta todos los cordados. El origen de este grupo de organismos no se ha esclarecido totalmente, no obstante se han propuesto diversas teorías que explican este fenómeno y van desde explicaciones puramente neodarwinistas las cuales proponen básicamente un cambio gradual causado por mutaciones puntuales de organismos unicelulares, que luego se agruparon en colonias para dar organismos multicelulares que posteriormente evolucionaron en 2 grandes ramas de animales, los de simetría radial y los de simetría bilateral. Otra postura plantea que hubo un cambio brusco y discontinuo que dio origen a los metazoos bilaterales, tal cambio sucedió por reacomodaciones de módulos genéticos completos. En este contexto y con el fin de dar una visión amplia y crítica de la ciencia es importante mostrar a los estudiantes más de una postura que explique un fenómeno (Ver apartado 1.1.6.2.).

A QUIÉN VA DIRIGIDA

Esta guía está pensada para ser aplicada por docentes de biología a estudiantes con los que previamente se hayan trabajado los conceptos básicos de evolución biológica desde el darwinismo y el neodarwinismo, principios básicos de genética, conceptos básicos de anatomía en lo que respecta a ejes corporales, simetría radial y bilateral como también principios de embriología básicos.

MARCO DIDÁCTICO

Esta guía está pensada para ser trabajada desde el aprendizaje por indagación con énfasis en la importancia histórico-epistemológica en la construcción de conceptos científicos (Ver capítulo 2).

LA APLICACIÓN DE LA GUÍA**1. APERTURA**

El docente dejará claro algunos conceptos clave sobre animales de simetría radial y bilateral, desarrollo embrionario, organismos diploblásticos, triploblásticos, genes hox y colinearidad de genes. Es recomendable explorar ideas previas en los estudiantes sobre estos conceptos dentro del contexto evolutivo.

2. DESARROLLO**2.1. Lectura introductoria guiada por el docente****Teorías sobre el origen de los metazoos bilaterales**

Los animales con simetría bilateral comprenden más de 30 filos del total de 35-36 que existen en la actualidad y representan el 98 por ciento de las especies animales. La mayoría de los datos morfológicos, embriológicos, paleontológicos y moleculares indican que estos organismos aparecieron hace unos 570 millones de años, a partir de ancestros más simples con simetría radial, radiando explosivamente durante el período Cámbrico. La transición entre radiales diploblásticos y bilaterales triploblásticos es aún el enigma más importante que tiene planteada la evolución. ¿Cómo se originaron los ejes anteroposterior y dorsoventral, la simetría bilateral y el mesodermo a partir de organismos con un solo eje axial, varios planos de simetría y dos hojas embrionarias? La morfología y la embriología comparadas han generado numerosas hipótesis para explicar tal transición, sin alcanzarse aún una solución de consenso. En los últimos 20 años, la genética del desarrollo y las técnicas moleculares aplicadas a la sistemática y la filogenia, han aportado nuevos datos de interés para reevaluar y, eventualmente, solventar este enigma. En particular, se han descrito los genes clave que especifican los patrones axiales en bilaterales, los genes homólogos a estos que se expresan axialmente en diploblásticos, y se ha avanzado en el conocimiento de los genes que se expresan en el mesodermo. Con estos datos una de las hipótesis para explicar el origen de los metazoos bilaterales es que grupos o módulos de genes reguladores de otros genes (genes Hox) de los organismos radiales por duplicaciones dieron origen a los genes que regulan el desarrollo y el fenotipo de todos los metazoos bilaterales. Dichos genes una vez dieron origen a los bilaterales sin cambiar mucho en su configuración molecular pero si induciendo grandes cambios en el fenotipo dan cuenta de la gran variedad de animales bilaterales que existen y han existido. Prueba de ello es que el gen que regula el desarrollo de los ojos en la mosca de la fruta es muy similar al que controla el desarrollo de los ojos en los humanos, tanto así que si se inserta un gen humano que controle el desarrollo de los ojos en humanos, éste también funcionara en una mosca.

Tomado de "Origen y evolución de los ejes corporales y la simetría bilateral en animales". (Baguña, J. y otros, 2007).

2.2. Preguntas

1. ¿Por qué se considera un fenómeno importante en la evolución el origen de los metazoos bilaterales?
2. Expresa en tus palabras ¿qué es la explosión cámbrica?
3. ¿La aparición de los metazoos bilaterales se podría considerar un fenómeno gradual o súbito? Explica.
4. ¿Qué papel pueden jugar los genes Hox en el origen de los metazoos bilaterales?
5. ¿Qué hipótesis puedes dar al fenómeno de similitud acerca de los genes que controlan la formación de los ojos en la mosca de la fruta y los humanos, teniendo en cuenta que morfológicamente somos tan diferentes los humanos de las moscas?
6. ¿Es plausible que los metazoos bilaterales se hayan originado por pequeños cambios que cada vez los hayan vuelto más adaptables al ambiente? Explica.

2.1. Imágenes

A continuación el docente presentará las siguientes imágenes contextualizando y guiando a los

estudiantes sobre qué es lo que representan:

1. En esta imagen es importante que el docente aclare la simetría radial de este organismo (hidra), como también la presencia de los genes *hox*, enfatizando que dichos genes no presenta colinearidad, sin embargo regulan el desarrollo de este animal.

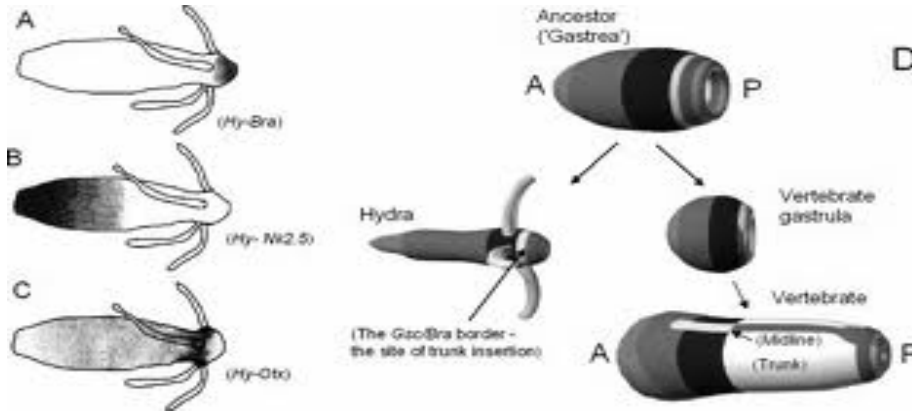


Imagen tomada de: <http://www.google.com.co/imgres?q=genes+hox+hydras>

2. En esta imagen es importante resaltar que ambos organismos a pesar de ser diferentes, ambos son animales bilaterales, y que sus genes *hox* que regulan el desarrollo presentan el fenómeno de colinearidad.

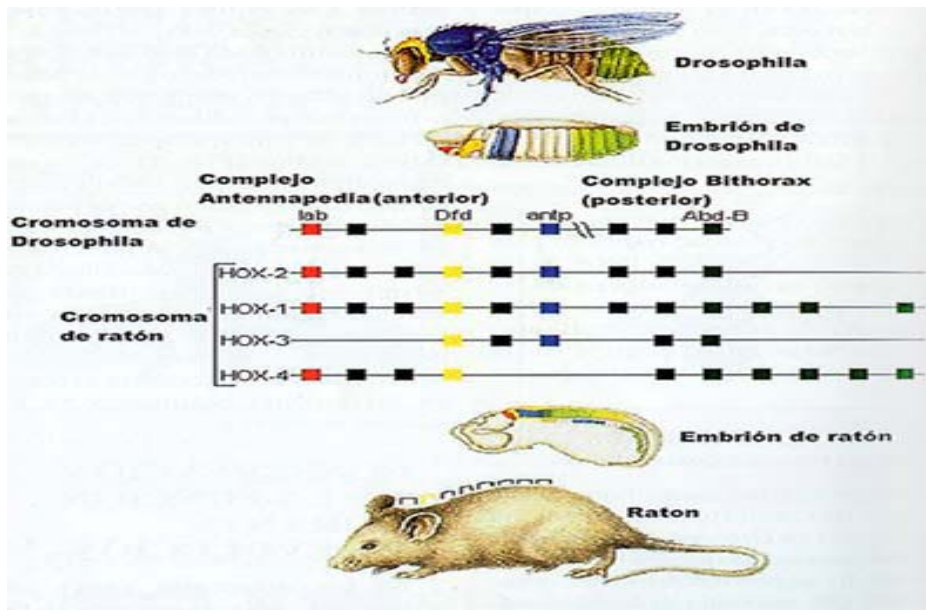


Imagen tomada de: <http://www.google.com.co/imgres?q=genes+hox+hydras>

2.4. Preguntas sobre las imágenes

1. ¿Qué semejanzas observas entre el desarrollo del ratón y la mosca?
2. ¿Qué papel juegan los genes Hox en el desarrollo del ratón, la mosca y la hidra?
3. De acuerdo con la imagen 2, ¿Qué hipótesis puedes argumentar en cuanto al

parentesco del ratón y la mosca?

4. Si se compara la imagen 1 con la 2 ¿Qué diferencias y similitudes puedes ver en cuanto a parentesco y desarrollo?

3. CIERRE

El docente mostrará comparativamente las respuestas de la indagación preliminar realizada en la apertura con las respuestas obtenidas después de la actividad de lectura. Se sugiere para lo anterior hacer paralelos conceptuales entre ellas.

El docente precisará algunos conceptos estudiados durante el desarrollo de esta actividad con el fin de afianzar los conocimientos construidos por los estudiantes en el proceso.

Bibliografía

Acevedo, J. A.; Vázquez, A.; Martín, M.; Oliva, J. M.; Acevedo, P.; Paixão, M. F., y Manassero, M. A. (2005): "Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica.", en Eureka, n.º 2, 2, pp. 121-140, en <<http://www.apac-eureka.org/revista/Larevista.htm>> [consulta: enero 2012].

Andrade, E. (2009). *La ontogenia del pensamiento evolutivo. Hacia una interpretación semiótica de la naturaleza*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 422 p.

Araujo, R. y Roa, R. (2011). Enseñanza de la evolución biológica. Una mirada al estado del conocimiento. En: *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza* Vol. 4 No.7 p. 15-35. Universidad Pedagógica Nacional: Bogotá.

Baguñà, J., Ruiz-Trillo, I., Paps, J. y Riutort, M. (2007). *Origen y evolución de los ejes corporales y la simetría bilateral en animales*. Universidad de Barcelona: Barcelona.

Bowler, P. (1985). *El eclipse del darwinismo. Teorías evolucionistas antidarwinistas en las décadas en torno a 1900*. Barcelona: Editorial Labor, 401 p.

Buskes, C. (2009). *La herencia de Darwin. La evolución en nuestra visión del mundo*. Barcelona: Herder Editores, 234 p.

Caponi, G. (2009). La miseria de la degeneración: el materialismo de Buffon y las 'limitaciones' de su transformismo. En: *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, v.16, n.3, jul.-set. 2009, p.683-703. Rio de Janeiro

Chaves, G. (2010). ¿Enseñamos Evo-Devo?: Implicaciones de las nuevas hipótesis sobre evolución biológica y su incidencia en la escuela. En: *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*. Vol. 3 No. 4 p.176-187. Universidad Pedagógica Nacional: Bogotá.

Crick, F. (1981). *Life itself. Its origin and nature*. Simon and Schuster: London. 344 p.

Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A., Massarini, A. (2009). *Biología*. Séptima edición. Buenos Aires: Panamericana, 1026 p.

Darwin, C., (1992 [1872]). *The origin of species, 6th ed.*, London: John Murray. (Trad. Castellana: (1992), *El origen de las especies* (6ta edición), Barcelona: Planeta-Agostini, 496 p.

Dawkins, R. (1988). *El relojero ciego*. Labor: Barcelona. 254 p.

Dawkins, R. (2010). *Evolución el espectáculo más grande sobre la tierra*. Madrid : Planeta, 430p.

Dobzhansky, T. (1937) *Genetics and the origin of species*. Columbia University Press, NewYork. 343 p.

Eldredge, N. y Gould, S.J. (1977): Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered. *Paleobiology*, **3(2)**: 115-151.

Escalante, P. (2011). Aprendizaje por Indagación. En: www.medellin.edu.co/Educativo/Repositorio. [Consulta: agosto 21 de 2011].

Elgredge, N. (1995). *En reinventing Darwin: The great debate at the high table of evolutionary theory*. JhonWiley&sons: New York: 443 p.

García, T. (2005). Evolución, desarrollo y (auto)organización. Un estudio sobre los principios filosóficos de la evo-devo. Tesis doctoral, Universidad del País Vasco.

Garriz, A. (2006). Naturaleza de la ciencia e indagación: cuestiones fundamentales para la educación científica del ciudadano. En: revista Iberoamericana de Educación. No. 42. Septiembre-diciembre. OEI: Sao Paulo.

Gould, S. (1994). *El Pulgar Del Panda*. Crítica: Barcelona. 292 p.

Gould, S. (2010). *Ontogenia y Filogenia. La ley fundamental biogenética*. Crítica : Barcelona.544 p

Haeckel E. (1914). *History of Creation*. Apleton and Company : New York. 422p.

Heidegger M., (1995). *El Ser y el Tiempo*. Fondo de cultura económica: Colombia. 478 p.

Hernández, F. y otros. (2011). *Aprender Desde la indagación en la Universidad*. Barcelona; Ediciones Octaedro, 64 p.

Huxley J. (1942). *Evolution: The Modern Sintesis*. Columbia University Press, NewYork.

543 p.

Malthus, T. (1951). *Ensayo sobre el Principio de la Población*. México: Fondo de Cultura Económica, 298 p

Margulis, L. y Sagan, D. (2003). *Captando Genomas. Una teoría sobre el origen de las especies*. Kairos: Barcelona. 285 p.

Mayr E. (1942). *Systematics and the Origin of Species* Columbia University Press: New York 565 p.

Mayr, E. (1995). *Así es la biología.: Debate*, Madrid. 326 p.

Mayr, E. (1998). Causa y Efecto en Biología. En *Historia y explicación en Biología Barahona y Martínez* (Compiladores). Fondo de Cultura Económica, México. 510 p.

Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología*. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica. Katz: Buenos Aires. 280 p.

Ministerio De Educación Nacional. (2008). *La Formación en Ciencias: El Desafío*. Bogotá: Ed. MEN.

Needham, J. (2010). El sentido Daoísta de la naturaleza. En: [Consulta: mayo 6 de 2011]. <http://www.librosintinta.in/biblioteca/verpdf/www.mercurialis.com/RYFT/PDF/Joseph%20Needham%20-%20El%20Sentido%20Daoista%20de%20la%20Naturaleza.pdf.htm>

Núñez, I. (2008). Génesis de la vida desde la dinámica procesual de la materia En: *pensamiento*, vol. 64 N° 242. pp 741-770

Padilla Gálvez, Jesus (2009). *Wittgenstein I. Lecturas tractarianas*. Madrid, México D. F.: Plaza y Valdés.

Robert J. y Sassai E. (1996). Pattern formation in insect embryogenesis: The evolution of concepts and mechanisms. En: *International Journal of Insect Morphology and Embryology*. Volume 25, Issue 4, October 1996, Pages 349–367

Ruse, M. (2008). *The philosophy of biology*. Cambridge collections online Cambridge university press: Cambridge. 321 p.

Sampedro, J. (2007). *Deconstruyendo a Darwin Los Enigmas de la evolución a la luz de la Nueva Genética*. Crítica: Barcelona. 293 p.

Sánchez, A. (2012). *Los problemas de la evolución*. Departamento de Antropología, Lógica y Filosofía de la Ciencia Facultad de Filosofía. UNED. Madrid 65 p.

Sánchez, C. (2000). *Origen y Evolución del parasitismo*. Universidad de Zaragoza.

Sánchez, D. (2011) La biología romántica de los Naturphilosophen: *El taller de las ideas*. En: <http://www.gonzalezrecio.com/bionomos/textos/Publicaciones/DEscar> [Consulta: enero de 2012]

Simpson, G. (1944). *Tempo and Modo in Evolution*. Columbia University Press: New York 465 p.

Smith, C. (1977). *El problema de la vida*. Madrid: Alianza, 441 p.

Torres, J. (2004). *En el nombre de Darwin*. Segunda edición. México: Fondo de Cultura Económica, 159 p.

Tyler, S. 2003. Ephilum- the primary building block for metazoan complexity. *Integrative and comparative biology* 43: 55-63

Vázquez, A., y Manassero, M. (2003): "Papel de la educación CTS en una alfabetización científica y tecnológica para todas las personas", en *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, n.º 2, 2, en <<http://www.saum.uvigo.es/reec>> [consulta: nov. 2011].

.