



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**POSGRADO EN PEDAGOGÍA  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**Perspectiva macroevolutiva en estudiantes de la  
licenciatura en biología**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTOR EN PEDAGOGÍA**

**P R E S E N T A :**

**DOLORES ALICIA ESCORZA CARRANZA**

**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. ROSAURA RUIZ GUTIÉRREZ  
Facultad de Ciencias**

**Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México  
Diciembre 2017**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
<b>TEORÍA EVOLUTIVA</b>	
<b>ACERCA DE LA CIENCIA</b>	<b>9</b>
<b>DARWINISMO</b>	<b>14</b>
<b>TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN</b>	<b>20</b>
<b>TEORÍA DEL EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>36</b>
<b>REGISTRO FÓSIL, GRADUALISMO, ESTASIS</b>	<b>58</b>
<b>COMPARACIÓN ENTRE LA TEORÍA SINTÉTICA Y EL EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>81</b>
<b>EL PROBLEMA EDUCATIVO</b>	
<b>CONSTRUCTIVISMO</b>	<b>88</b>
<b>DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS</b>	<b>97</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	
<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>122</b>
<b>PROPUESTA DIDÁCTICA</b>	<b>127</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>133</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>209</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>212</b>
<b>APÉNDICES</b>	<b>225</b>

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b>	
<b>TEORÍA EVOLUTIVA</b>	
<b>ACERCA DE LA CIENCIA</b>	<b>9</b>
La enseñanza de la ciencia	10
<b>DARWINISMO</b>	<b>14</b>
<b>TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN</b>	<b>20</b>
La formulación	20
Restricción y endurecimiento	23
Resumen de la teoría sintética	24
La macroevolución desde la teoría sintética	26
Críticas a la teoría sintética	28
Teorías propuestas en la segunda parte del siglo XX	32
Teoría neutralista y casi neutralista	32
Teoría endosimbiótica serial	33
Biología evolucionaria del desarrollo	34
<b>TEORÍA DEL EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>36</b>
Artículo inicial	36
Sobre el gradualismo y el saltacionismo	39
Etapas del equilibrio puntuado	41
¿Qué es el equilibrio puntuado?	47
Críticas al equilibrio puntuado	54
<b>REGISTRO FÓSIL, GRADUALISMO, Y ESTASIS</b>	<b>58</b>
Respecto al registro fósil	58
Sobre el gradualismo	67
La estasis	73
<b>COMPARACIÓN ENTRE LA TEORÍA SINTÉTICA Y EL EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>81</b>
Sobre la forma de comparar	81
Estructura de la teoría evolutiva	82
Estructura de la teoría sintética y refutaciones a partir del EP	83
Modificaciones de la estructura consideradas por el EP	85
<b>EL PROBLEMA EDUCATIVO</b>	
<b>CONSTRUCTIVISMO</b>	<b>88</b>
Conocimiento	89
Aprendizaje significativo	89
Representación	91
Organización conceptual	92
PDHI	94

<b>DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS</b>	<b>97</b>
Enseñanza de la biología	98
Enseñanza de la evolución biológica	99
Polémica	99
Investigaciones sobre la enseñanza y aprendizaje de la evolución	100
Enseñanza y aprendizaje de conceptos específicos	101
Estrategias de enseñanza	102
Problemática en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución	104
Explicaciones de los estudiantes respecto a la evolución	107
Nuevas temáticas	117
<b>METODOLOGÍA</b>	
<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b>	<b>122</b>
Poblaciones participantes	123
Obtención de datos y procedimiento	124
Instrumento de evaluación	124
<b>PROPUESTA DIDÁCTICA</b>	<b>127</b>
Diseño de la propuesta didáctica PDHI	127
Secuencia de actividades	128
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>CARACTERIZACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE TODOS LOS GRUPOS</b>	<b>133</b>
Registro fósil	133
Estasis	145
Concepto de Equilibrio Puntuado	152
<b>COMPARACIÓN DE RESPUESTAS ACERCA DE LA PROPUESTA PDHI</b>	<b>154</b>
Registro fósil	154
Estasis	165
Concepto de Equilibrio Puntuado	168
<b>ANÁLISIS GENERAL</b>	<b>173</b>
<b>OTRAS CONSIDERACIONES</b>	<b>176</b>
Equivocaciones comunes sobre la teoría del equilibrio puntuado	176
Estasis como invarianza total	177
Inexistencia de estados intermedios y universalidad de grandes saltos	177
Equilibrio como balance en la naturaleza	179
Puntos conflictivos	179
El concepto de especie	179
Los niveles evolutivos	181
Adaptación y exaptación	181
La consideración del tiempo	182
<b>OBSTÁCULOS</b>	<b>183</b>
Esencialismo	183
Teleología	188
Razonamiento causal lineal	191
<b>PROBLEMAS CON LAS TEORÍAS Y LOS CONCEPTOS</b>	<b>193</b>
<b>SUGERENCIAS DIDÁCTICAS</b>	<b>195</b>
<b>POR QUÉ ENSEÑAR EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>197</b>
Transposición didáctica	204
<b>TEMARIO SUGERIDO</b>	<b>206</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>209</b>

<b>REFERENCIAS</b>	212
<b>APÉNDICES</b>	225
1 Propuestas para una nueva síntesis evolutiva	225
2 Cuestionario semiestructurado de respuestas abiertas.	235
3 Tabla de grupos a los que se les aplicó cuestionario.	236
4 Registro fósil. Cuestionarios, categorías finales, semifinales e intermedias.	239
5. Datos de la pregunta sobre la estasis.	241
6. Tablas de Registro fósil. Respuestas por categoría intermedia.	245
7. Mapa curricular de la licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias, FES Iztacala, FES Zaragoza.	247

### ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS

<b>FIGURA 1.</b> Tratamiento de los datos sobre el registro fósil.	134
<b>TABLA 2.</b> Tipos de respuesta sobre el registro fósil. Categorías intermedias	135
<b>3. Registro fósil. Frecuencia de respuestas por categoría intermedia</b>	
<b>TABLA 3a.</b>	136
<b>GRÁFICA 3b.</b>	137
<b>TABLA 4.</b> Comparación entre explicaciones darwinianas y categorías intermedias	138
<b>5. Registro fósil. Respuestas por categoría final.</b>	
<b>TABLA 5a</b>	140
<b>GRÁFICA 5b</b>	140
<b>6. Registro fósil. Porcentaje de alumnos con tipo de respuesta diferente</b>	
<b>TABLA 6a</b>	141
<b>GRÁFICA 6b</b>	142
<b>7. Registro fósil. Interpretación de las brechas/ Explicación de las brechas</b>	
<b>TABLA 7a</b>	143
<b>GRÁFICA 7b</b>	144
<b>FIGURA 8.</b> Segregación de respuestas en relación a la interpretación del registro fósil	144
<b>FIGURA 9.</b> Tratamiento de los datos sobre la estasis	145
<b>TABLA 10.</b> Tipos de respuesta sobre la estasis. Categorías intermedias	146
<b>GRÁFICA 11.</b> Explicación de la estasis. Respuestas válidas y no válidas	147
<b>12. Explicación de la estasis. Frecuencia de respuestas por categoría intermedia</b>	
<b>TABLA 12a</b>	147
<b>GRÁFICA 12b</b>	148
<b>GRÁFICA 12c</b> Porcentaje de respuestas por categoría final	149
<b>13. Alumnos que consideran la estasis común</b>	
<b>TABLA 13a</b>	150
<b>GRÁFICA 13b</b>	151
<b>14. Concepto de Equilibrio Puntuado</b>	
<b>TABLA 14a</b> Todos los grupos	152
<b>GRÁFICA 14b</b> Todos los grupos	153
<b>GRÁFICA 14c</b> Primero y segundo semestres	154
<b>15. Registro Fósil. Respuesta por categoría intermedia</b>	
<b>GRÁFICA 15a</b> Antes del tema. Gpo. Control	154
<b>GRÁFICA 15b</b> Después del tema. Gpo. Control	155
<b>GRÁFICA 15c.</b> Pre-intervención/PDHI	156

GRÁFICA 15d. Post-intervención/PDHI	156
<b>16. Registro fósil. Respuesta por categoría final</b>	
TABLA 16a. Antes del tema/Grupo control	157
GRÁFICA 16b. Antes del tema/Grupo control	158
TABLA 16c. Pre-intervención/PDHI	159
GRÁFICA 16d. Pre-intervención/PDHI	159
TABLA 16e. Post-intervención/PDHI	159
GRÁFICA 16f. Post-intervención/PDHI	160
<b>17 Registro fósil. Alumnos con tipo de respuesta diferente</b>	
TABLA 17a. Antes del tema/ Gpo. Control	161
GRÁFICA 17b. Antes del tema/ Gpo. Control	161
TABLA 17c. Después del tema/ Gpo. Control	161
GRÁFICA 17d.Después del tema/Gpo. Control	162
<b>18 Registro fósil. Alumnos con tipo de respuesta diferente</b>	
TABLA 18a. Pre-intervención/PDHI	163
GRÁFICA 18b. Pre-intervención/PDHI	163
TABLA 18c. Post-intervención/PDHI	163
GRÁFICA 18d.Post-intervención/PDHI	164
<b>19 Explicación de la estasis. Respuestas por categoría final</b>	
TABLA 19a. Antes del tema/Gpo. Control	165
GRÁFICA 19b. Antes del tema/Gpo. Control	165
TABLA 19c. Después del tema/ Gpo. Control	165
GRÁFICA 19d. Después del tema/Gpo. Control	166
TABLA 19e. Pre-intervención. PDHI	167
TABLA 19f. Pre-intervención. PDHI	167
TABLA 19g Post-intervención. PDHI	167
GRÁFICA 19h. Post-intervención. PDHI	168
<b>20 Concepto de Equilibrio Puntuado</b>	
TABLA 20a. Antes del tema/Grupo control	168
GRÁFICA 20b. Antes del tema/Grupo control	169
TABLA 20c. Después del tema/Grupo control	169
GRÁFICA 20d. Después del tema/Grupo control	169
TABLA 20e. Pre-intervención. PDHI	170
GRÁFICA 20f. Pre-intervención. PDHI	171
TABLA 20g. Post-intervención. PDHI	171
GRÁFICA 20h. Post-intervención. PDHI	171
<b>21 Explicación de la estasis. Respuestas por categorías intermedias</b>	
TABLA 21a. Pre-intervención. Grupo control	243
TABLA 21b. Post-intervención. Grupo control	243
TABLA 21c. Pre-intervención. PDHI	244
TABLA 21d. Post-intervención. PDHI	244
<b>22 Registro Fósil. Respuestas por categorías intermedias</b>	
TABLA 22a. Pre-intervención. Grupo control	245
TABLA 22b. Post-intervención. Grupo control	245
TABLA 22c. Pre-intervención. PDHI	246
TABLA 22d. Post-intervención. PDHI	246

## DEDICATORIA

Diana Ramos Escorza, Carlos Durán Escorza, Juan Escorza Ledesma y Mario Ramos O.

In memoriam.

A mi directora de tesis Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez por haberme dado su confianza, conocimientos, y tiempo, pero sobre todo le agradezco el lado humano que siempre me mostró, nunca cambie.

A los integrantes de mi comité tutorial Doctores Miguel Ángel Campos Hernández, Antonio Carrillo Avelar, Ricardo Noguera Solano, Alma Herrera Márquez por aportar tanto durante el desarrollo de este trabajo, tenerme infinita paciencia, haberme compartido invaluable conocimientos y hacerme entender que la ciencia no está reñida con la grandeza de espíritu.

A los maestros Eréndira Álvarez Pérez, Maricela Arteaga Mejía, Lorena del Carmen Caballero Coronado, Irma Elena Dueñas, Susana Esparza Soria, Lev Orlando Jardón Barbolla, Alberto Méndez Méndez, Víctor Manuel Moreno Torres, Joel Romero Carmona, Alejandra Valero Méndez, Sara Alicia Quiroz Barroso, Juan Nuñez Farfán, y Francisco Sour Tovar por haberme permitido ingresar a sus clases, trabajar con sus grupos y entrevistarlos. Sus consejos y apoyo fueron imprescindible.

A las maestras Dora Longares Méndez, Maricela Arteaga Mejía, Patricia Rivera García y Balbina Vázquez Benitez por ser que más que amigas, consejeras, cómplices y ejemplos a seguir.

A los maestros Armando Cervantes Sandoval, Manuel Rico Bernal por su apoyo desinteresado.

A mi familia

Mariano, Mariano hijo, Gabriela, y Alejandro por ser la razón de mi existencia.

Lolita, Adriana, Juan y Ximena por ser inspiración y amor infinitos.

Margarita, Toño, Mónica, Edgar, Meli, Daniel, y Sergio por ser parte importante de nuestra familia y ayudarnos en todo lo que pueden.

Ramón, por tu apoyo, tus estimulantes discusiones, por prestarme tus grupos y por ser un primo entrañable.

Isabel Castillo Cadena por tus aportaciones académicas e inmejorable compañía.

Y a mis compañeros y alumnos de la UNAM, mi absoluta gratitud.



## **RESUMEN**

La teoría del equilibrio puntuado aborda los procesos evolutivos a largo plazo y hace énfasis en que las especies transcurren a distintos ritmos y modos en el tiempo geológico. En esta investigación se explora la forma en que algunos estudiantes de la licenciatura en Biología de la UNAM, comprenden la macroevolución, encontrándose que generalmente la asumen de una forma gradualista, apegándose a ciertas propuestas darwinianas; y aunque conozcan el equilibrio puntuado, no lo emplean en sus explicaciones. Consideran los procesos de cambio evolutivo a largo plazo, como el resultado de modificaciones pequeñas, lentas y continuas y dejan de lado otras velocidades y patrones de transformación; sin expresar una perspectiva pluralista de las causas evolutivas. Los resultados sugieren que se alejan de las explicaciones esencialistas y se les dificulta considerar una estabilidad de las especies a largo plazo. Posiblemente su concepción gradualista se relacione con la teleología de sentido común y el razonamiento causal lineal.

## INTRODUCCIÓN

“Cuando no cambia la preparación durante inmensos períodos de tiempo, las tradiciones pasan intactas a la generación siguiente. Pero cuando lo que se debe aprender cambia de prisa [...] se hace mucho más difícil saber qué enseñar y cómo enseñarlo” (Sagan, 1997).

El punto de partida de la presente investigación se encuentra en el hecho de que la teoría del equilibrio puntuado fue una propuesta evolutiva publicada por primera vez en 1972, y a más de cuarenta años de distancia, la teoría se encuentra vigente en los programas de estudio de las asignaturas relativas a la evolución de la licenciatura en Biología, pero ¿cuál es su situación en las aulas universitarias? ¿Cómo asumen los procesos macroevolutivos los alumnos de la Universidad Nacional Autónoma de México? ¿Consideran al equilibrio puntuado en sus explicaciones biológicas? ¿A qué procesos atribuyen los cambios de las especies a través de los tiempos geológicos?

Aquí se aborda esta temática y se busca contribuir a dar respuesta a estas preguntas, por lo que se estudia la evolución biológica (particularmente la teoría del equilibrio puntuado) y su relación con la enseñanza y el aprendizaje, fundamentalmente a nivel licenciatura de futuros biólogos de la UNAM.

Si bien para todo ser humano es importante entender la vida, —porque forma parte de ella, y toda su existencia transcurre en una interacción continua, necesaria y permanente con la misma—, para aquellos que se dedican profesionalmente al área de las ciencias naturales es imprescindible. Para los biólogos, *el sentido de la vida* lo proporciona la perspectiva evolutiva, ya que ella “ilumina cada tema de la biología, desde la biología molecular a la ecología” debido a que constituye un principio unificador de lo vivo; es decir, toda la biología converge en la evolución (Futuyma, 2005:1).

La teoría de la evolución permite explicar gran cantidad de fenómenos de la vida cotidiana, como el origen de nuestra especie a partir de primates no humanos, el origen y función de nuestros rasgos anatómicos y fisiológicos, de nuestros rasgos psicológicos, de nuestras enfermedades, de ciertos tratamientos, de la resistencia a venenos de plagas y patógenos, del origen de las razas de animales y plantas domésticos, entre otros (González-Galli, 2011:13).

Kuhn (1990) ha afirmado que la formación de científicos está centrada en el aprendizaje de los “paradigmas dominantes”, y el paradigma dominante en biología evolutiva es la teoría sintética, también conocida como síntesis moderna. Su formulación básica establece a la selección natural como su principal mecanismo y se fundamenta en tres hechos; la variación, la heredabilidad y la sobreproducción de la descendencia. Es decir, los organismos con mayor éxito reproductivo serán, en promedio, las variantes que producidas por un proceso azaroso, finalmente resulten estar mejor adaptadas a los entornos locales favorecidos (Gould, 2004).

En un contexto mayor, la teoría propone un proceso general que ha operado desde el inicio de la vida y hasta nuestros días, que se caracteriza por ser lento y gradual, y que resulta en la formación de poblaciones "ajustadas" cercanamente a su ambiente. Debido a la multiplicidad de ambientes distintos y cambiantes, se producirá una divergencia entre distintas poblaciones, que a largo plazo nos conduce a la diversidad de formas que actualmente existen. Esto es, todos los seres vivos tienen un origen único y todas las formas presentes y pasadas se han producido gracias a este proceso (Darwin, 1981[1872]).

Una de las principales críticas que se hizo a la teoría sintética fue la denominada “teoría del equilibrio puntuado” que aborda el origen y despliegue de las especies en el tiempo geológico. Su planteamiento central sostiene que la

mayoría de especies aparece en un momento geológico breve en el registro fósil (llamado puntuación), y luego permanecen casi sin cambio en la morfología (denominado estasis) durante toda su vida geológica (Eldredge y Gould, 1972; Gould, 2004:797; Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002:172). Esta teoría se contrapone a una perspectiva “gradualista” proveniente de la “teoría sintética” que considera que las especies van transformándose gradual y lentamente en el tiempo geológico (Gould, 2004).

Aunque en la licenciatura de Biología se procura que los estudiantes se familiaricen con las principales controversias y discusiones que tiene lugar en la teoría evolutiva, se destaca que al igual que el resto de teorías científicas, está sometida a una constante revisión y contrastación. Pero como lo muestra Ruiz Gutiérrez (1996:18, 21), la mayoría de los científicos están tan convencidos de la veracidad de determinados conceptos, teorías y métodos que raramente discuten las polémicas, límites o dificultades con sus estudiantes; comúnmente se enseñan las teorías como algo acabado, sin mostrarse su temporalidad, transformación o pugnas.

De hecho, el acelerado avance del conocimiento científico en los últimos cincuenta años está dejando desfasado el concepto neodarwinista de la evolución, y se registra una continua expansión de la teoría evolutiva en términos de las ideas, fenómenos estudiados y campos del conocimiento (Eldredge, 1997; Fontdevilla y Moya, 2003; Gould, 2004; Pigliucci, 2009; Sidlauskas et al., entre otros).

Por otra parte, la situación en la educación también es compleja, y en muchas ocasiones el aporte de la escuela al desarrollo de habilidades y conocimientos no es sustancial, lo que resulta en una formación débil e inadecuada de los estudiantes. Y como lo refieren Miguel Ángel Campos y colaboradores (2008:25) “Esta situación es acuciante, dadas las exigencias del

mundo contemporáneo globalizado, enfocado a la rápida distribución y utilización del conocimiento formal que se requiere en todo contexto profesional local, especialmente en aquellos sectores de servicios en que se produce más rápidamente.”

Sin embargo aprender la teoría evolutiva no es fácil, como lo señalan Campos y Cortés (2002) existen numerosos problemas en su comprensión, ya que estos procesos no se corresponden con el lenguaje cotidiano, ni con lo que se puede percibir con los sentidos; más aún este aprendizaje ha sido siempre difícil para los estudiantes de todos los niveles escolares (Campos, Cortés y Gaspar, 1999:28; González-Galli, 2011:22; Sánchez Mora, 2000 entre otros).

Por ejemplo, las concepciones erróneas sobre el proceso evolutivo se encuentran en numerosos países y también en todos los niveles educativos; Jungwirth, 1975b (Israel); Brumbi, 1980 (Inglaterra) Martin, 1983 (Australia); Hallden, 1988 (Suecia); Bishop, y Anderson, 1990 (EE.UU); Benítez et al., 1997 (México); De Caro y Moura Braga, 2002 (Brasil); Jiménez Aleixandre, 2009a:138 (España); Meinardi y Adúriz-Bravo, 2002; González Galli y Meinardi, 2010 (Argentina), entre muchos otros (en González-Galli, 2011:22).

María del Carmen Sánchez Mora (2000:70) realizó un seguimiento del manejo del tema evolutivo desde la secundaria hasta el último semestre de la licenciatura en Biología en la UNAM<sup>1</sup> además revisó los libros de texto y programas educativos relativos, y se encontró que el tema se enseñaba inadecuadamente debido a que los programas no estaban acordes con la realidad cognitiva de los estudiantes, no se tomaban en cuenta las ideas previas, no se incluían los protoconceptos indispensables, ni se asociaban los temas a algunos de interés cotidiano.

---

<sup>1</sup> Este estudio investigó a estudiantes de la licenciatura en biología de la Facultad de Ciencias, que es la misma institución que en el presente trabajo se indaga.

Son numerosos los factores que contribuyen a esta situación, uno de los más relevantes es la exigencia de abordaje lógico, metodológico y abstracto del conocimiento científico, pero también dificultan la enseñanza la presencia e influencia de valores e ideas religiosas tanto en estudiantes como profesores (Soto Sonera, 2009), presencia y persistencia de concepciones alternativas no necesariamente asociadas al pensamiento religioso (González-Galli, 2011), materiales y estrategias didácticas inadecuadas (Hernández Rodríguez, 2002; Sanz Serrano, 2007) y el insuficiente desarrollo cognitivo de los estudiantes (Keown, 1988; Lawson y Thompson 1988, en González-Galli, 2011:22).

Si bien desde hace algún tiempo, se ha presentado un acalorado debate respecto a la distinción entre macroevolución y microevolución en el campo de la historia y filosofía de la ciencia, para la ciencia de la educación esto es relativamente nuevo; y fue apenas en la década pasada cuando se presentó un acentuado interés en la enseñanza y el aprendizaje de conceptos macroevolutivos (Nehm y Kampourakis, 2014:401). A pesar de ello, son escasos los estudios educativos que consideran al equilibrio puntuado (Folguera y González-Galli, 2012:15).

El equilibrio puntuado amplía los posibles mecanismos que explican los patrones en la historia de la vida a gran escala, aunque la selección natural y otros procesos microevolutivos son universalmente reconocidos como contribuyentes al cambio evolutivo; la expansión de estos mecanismos se considera un avance importante en la evolución (Nehm y Kampourakis, 2014:402).

Considerando todo lo antes expuesto se estimó conveniente realizar una investigación respecto a la situación de la enseñanza sobre la teoría del equilibrio puntuado en las aulas universitarias de la licenciatura en Biología de la UNAM, con los siguientes objetivos:

## **OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar las concepciones que emplean los estudiantes de la licenciatura en Biología cuando se refieren a procesos macroevolutivos particularmente los relacionados con el equilibrio puntuado.

## **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Encontrar las explicaciones de los estudiantes respecto a procesos macroevolutivos como la interpretación del registro fósil, la estasis, y el concepto de equilibrio puntuado.

2. Realizar una aportación al entendimiento de los obstáculos epistemológicos que se presentan en el aprendizaje de la teoría del equilibrio puntuado.

3. Aplicar el programa de desarrollo de habilidades con base a la estructura de la investigación (PDHI) propuesto por Campos Hernández (2004) para mejorar la enseñanza del equilibrio puntuado.

Con el fin de llegar a cumplir estos objetivos, lo primero que se llevó a cabo fue una serie de observaciones en el aula, de grupos de la licenciatura en Biología de la UNAM, que revisaban el tema de macroevolución. También se efectuaron entrevistas semiestructuradas con catedráticos de las asignaturas de Evolución y Paleobiología de los grupos.

Esto permitió dibujar un panorama inicial de la problemática en el aula<sup>2</sup>, y a partir de lo que se obtuvo, se formuló un cuestionario de respuestas abiertas con fundamento en la proposición central y las afirmaciones primarias de la teoría *sensu* Gould (2004).

---

<sup>2</sup> Aquí cabe mencionar que la que suscribe ha impartido cursos de “Taxonomía y evolución” y de “Biología evolutiva”, por más de veinte años, a estudiantes de licenciatura en Biología.

Finalmente con toda la información se aplicó una propuesta didáctica con base en el programa PDHI<sup>3</sup> (Campos, 2004) que pretende proveer organización al trabajo docente, y propiciar el desarrollo de habilidades de pensamiento integrados a conocimientos específicos, en un contexto de diálogo, exploración, análisis y resolución de problemas. La propuesta se trabajó para a un grupo de estudiantes que cursaban la asignatura de “Biología evolutiva”.

---

<sup>3</sup> PDHI se refiere al Programa de Desarrollo de Habilidades con Base en la Estructura de la Investigación creado por el Dr. Miguel Ángel Campos Hernández.



## MARCO TEÓRICO

### TEORÍA EVOLUTIVA

#### ACERCA DE LA CIENCIA

Quizá la forma más refinada y potente que la humanidad ha desarrollado para comprender y transformar el mundo es la ciencia, que forma parte de la compleja trama de nuestra sociedad y, como tal, influye sobre y es influida por todos los demás componentes de la trama (González-Galli, 2010a:90). De la actividad científica derivan los apreciables avances tecnológicos y de la salud que han permitido el desarrollo social y económico de la humanidad en la actualidad (Ruiz-Gutiérrez, 1996:12).

La ciencia es una actividad compleja hecha por hombres y mujeres que persiguen ciertos fines, que responden a ciertos valores y que condicionan, en alguna medida, los modos y resultados de la investigación científica (González-Galli, 2010a: 90). Busca organizar sistemáticamente el conocimiento en los ámbitos físico, biológico, psicológico y social; se interesa por formular leyes generales y teorías, y explicar *por qué* ocurren los sucesos observados (Ruiz-Gutiérrez, 1996:12).

A pesar de que para los científicos no hay forma de alcanzar la verdad absoluta, se van construyendo aproximaciones cada vez más exactas; de tal forma que aunque una teoría explique adecuadamente un conjunto de observaciones, siempre es posible que se elabore otra que pueda explicarlos mejor. (Ruiz-Gutiérrez, 1996:13). Así, se va desarrollando el conocimiento, –que desde la perspectiva de Popper—, es mediante una serie de revoluciones, por las cuales las estructuras teóricas son rechazadas y sustituidas por otras; de tal forma que toda teoría es una verdad histórica y se espera que posteriormente alguna prueba la desmienta. (Ruiz Gutiérrez, 1996:5).

El conocimiento científico, se considera (en este trabajo) como un sistema socialmente construido de ideas, suposiciones, definiciones, conceptos y procedimientos compartidos por una particular comunidad científica que se desea enseñar en el aula (Gieryn, 1992 en Campos y Cortés, 2002), pero que de ninguna manera es fijo.

### **La enseñanza de la ciencia**

Al estudio de las condiciones de producción y validación del conocimiento científico se le denomina epistemología, y su importancia para la actividad educativa ha sido ampliamente reconocida (Adúriz-Bravo, e Izquierdo-Aymerich, 2009; González-Galli, 2010a: 64; Hernández Rodríguez, 2002:13 y ss. entre muchos).

Existen problemas epistemológicos específicos para las diferentes disciplinas, y las ciencias naturales no son la excepción, este reconocimiento auxiliará en la construcción de una imagen más plural de las ciencias y podrá ser de gran utilidad en su enseñanza. Un rasgo epistemológico de la biología es la doble causalidad, es decir, todo fenómeno biológico puede entenderse como consecuencia de dos tipos de causas, las “próximas” y las “últimas”. (Mayr, 2006:86; González-Galli, 2010a:86).

Las primeras identifican los mecanismos físicos, químicos o fisiológicos que producen un rasgo con inmediatez (se hace referencia a este tipo de biología como funcional); las segundas hacen alusión a la historia de la especie para explicar el rasgo o fenómeno en cuestión (se conoce como biología histórica o evolutiva). Otro rasgo epistemológico es el papel de las explicaciones funcionales, muchas veces referido como explicaciones teleológicas (González-Galli, 2010a: 86-87).

Y es que cuando se enseña, no solo se transmiten conceptos y teorías científicas, sino también una determinada imagen de la ciencia (como aquella de que

se basa en la observación y es objetiva). Entonces, la idea que tienen los docentes acerca de la ciencia, influye no solo en *qué* se enseña, sino también en *cómo* se enseña (González-Galli, 2010a:59-65).

La imagen popular de la ciencia tiene múltiples orígenes, pero no se corresponde exactamente con alguna escuela histórica de pensamiento (Gagliardi, 1988; Joshua y Dupin, 2005:130; en González-Galli, 2010a: 66). Es el caso de la perspectiva que comparte el público en general, (incluidos docentes, estudiantes y algunos científicos) en donde se considera a la ciencia como constituida por una serie de observaciones objetivas, independientes de la teoría, con un único método científico; en donde todas las hipótesis se prueban mediante la experimentación, que está libre de juicios de valor y es inalterable, pero que además tiene un desarrollo progresivo, acumulativo y lineal (González-Galli, 2010a: 65 y ss.; Hernández, 2002:14) .

Por ejemplo Gil (1993 en Vilches y Furió, 1999) encuentra que entre las deformaciones más comunes generalizadas por la enseñanza están las siguientes:

- a) Visión empirista y ateórica, que identifica la ciencia con la observación y el laboratorio y supone que los conocimientos científicos se forman por inducción a partir de los datos puros.
- b) Visión lineal y acumulativa del desarrollo de la ciencia, que ignora las crisis y remodelaciones profundas de las teorías y conceptos científicos.
- c) Visión aproblemática y ahistórica, que transmite conocimientos ya elaborados como hechos asumidos sin mostrar los problemas que generaron su construcción.
- d) Visión individualista, el conocimiento científico aparece como obra de genios aislados, ignorando el papel del trabajo colectivo de generaciones y de grupos de científicos y científicas.
- e) Visión elitista, que esconde la significación de los conocimientos tras el aparato matemático y presenta el trabajo científico como un dominio reservado a minorías especialmente dotadas y, en particular, dando una imagen sexista de la ciencia.

f) Visión descontextualizada socialmente neutra, alejada de los problemas del mundo e ignorando sus complejas interacciones con la técnica y la sociedad. Se proporciona una imagen de los científicos encerrados en torres de marfil y ajenos a la necesaria toma de decisión.

Cuando se sostiene que “la ciencia deriva de los hechos”, estamos empleando una interpretación ingenua de la misma, la cual supone que los observadores cuidadosos y desprejuiciados pueden acceder directamente a los hechos mediante los sentidos; los hechos son anteriores e independientes de la teoría y brindan un fundamento confiable y firme para la construcción del conocimiento científico (González-Galli, 2010a:76).

Tenemos el caso de la interpretación del registro fósil, muchas personas pueden afirmar que la existencia de los fósiles es un hecho que constituye una prueba evidente de la evolución, pero los fósiles han sido considerados de muy diferentes formas a lo largo del tiempo, más aún han sido empleados para sustentar puntos de vista contrarios (Eldredge y Gould, 1972:88). Así, si se recurre a la historia de las ciencias, advertimos que muchos “hechos” que nos parecen hoy evidentes únicamente lo son desde nuestros actuales marcos teóricos.

En la didáctica de la ciencia, frecuentemente se enseñan las teorías como algo acabado, casi no se muestra su transformación y temporalidad, se les eleva incluso a la categoría de leyes (Ruiz-Gutiérrez, 1996:21), pero esta concepción de la ciencia para autores como Novak (1988 en Hernández, 2002:14) impide el aprendizaje de la ciencia y parcialmente explica la persistencia de concepciones erróneas sostenidas por los estudiantes.

En realidad, la enseñanza de las ciencias como se practica actualmente, no da los resultados que cabría esperar, hay un gran abismo entre la enseñanza científica impartida y las necesidades de las personas y las sociedades. Entre otros problemas, se mencionan la falta de flexibilidad de la enseñanza científica, la segmentación de los contenidos, la carencia de conocimientos prácticos, la capacidad limitada de los docentes para hacer frente a los cambios, el aislamiento de las ciencias con respecto a su entorno y la insuficiente evaluación de la enseñanza científica (Sani, 2001). Incluso, podemos preguntarnos si la forma en que se concibe y materializa la enseñanza científica, desde el punto de vista de los contenidos, métodos y estrategias de aprendizaje, permite hacer frente satisfactoriamente a todo un conjunto de desafíos, como la rapidez de los cambios – tal como se ha mencionado anteriormente para la biología evolutiva—, la complejidad e interdisciplinariedad, y la dimensión ética y social (Sani, 2001).

Para cerrar la brecha entre los científicos y la sociedad, es necesario que se mejore la calidad de la educación en ciencias en todos los niveles educativos. Hay muchas maneras de llevar a cabo esto último, la elaboración de textos y la revisión de contenidos, son dos de ellas. Se espera que los resultados y análisis de este trabajo, –en donde se tuvo la oportunidad de enlazar distintas áreas disciplinares, como son la didáctica de la biología y la teoría evolutiva—, contribuyan a un mejoramiento en la preparación de los biólogos como profesionistas.

## DARWINISMO

Como escribió Darwin:

Es bello contemplar un enmarañado ribazo cubierto por muchas plantas de varias clases, por aves que cantan en los matorrales, con diferentes insectos que revolotean y con gusanos que se arrastran en la tierra húmeda, y reflexionar que estas formas, primorosamente construidas, tan distintas entre sí, y que dependen mutuamente de manera tan compleja, han sido producidas por leyes que obran a nuestro alrededor.

**El Origen (Darwin, 1981)<sup>1</sup>**

En la ciencia actual la teoría de Darwin de la “selección natural” es una de las más importantes, en el sentido de que es la teoría que, para algunos autores, marca la pauta en toda disciplina que tenga algo que ver con la biología, incluidas aquellas como la psicología, la sociología y la antropología (Castrodeza, 2010:146).

Pero la teoría evolutiva no se quedó con Darwin, ha continuado su desarrollo hasta nuestros días, elaborándose de forma cada vez más compleja, aportando explicaciones más completas sobre la vida, y formulando interrogantes más precisas e interesantes, como la teoría del equilibrio puntuado (que se abordó en este trabajo), cuya cabal comprensión no es posible, a menos que nos remitamos a las teorías darwiniana y sintética porque en general las presupone, y finalmente lejos de contradecirse, las puede complementar. Siguiendo a Pievani (2012:214) se considera que la teoría evolutiva en más de 150 años de antigüedad<sup>2</sup> en los que se ha revisado y extendido teórica y empíricamente, no ha sufrido un cambio radical en sus propuestas fundamentales.

---

<sup>1</sup> De la sexta edición publicada en 1872.

<sup>2</sup> Aunque se reconoce que la idea de la transformación de las especies tiene largas raíces que llegan hasta los griegos (Bernal, 1979:176; Fontdevila y Moya, 2003:22, Templado, 1974, entre muchos).

Darwin formula la teoría de la evolución por selección natural como resultado de su viaje en el H.M.S. Beagle y una prolongada reflexión sobre sus datos, sumados con aquellos aportados por innumerables colegas, y otras teorías presentes en su tiempo, como la de Malthus (Bernal, 1990; Castrodeza 2010: 147 y ss.; Gould, 2004; Rostand, 1985; Templado, 1974). Durante un largo período, Darwin reunió innumerables observaciones, propias y ajenas, acerca de la variación de las especies en la naturaleza y se llegó a convencer de la tremenda variación heredable que ocurre en las poblaciones de organismos vivos. Esto, junto con la lectura de la obra clásica de Thomas Malthus sobre el crecimiento limitado de los recursos, le hizo concebir el principio de la selección natural, como lo comenta en su autobiografía (Darwin, 1993:66).

Pero, ¿qué pretendía Darwin al formular su teoría? Al parecer echar por tierra la teoría de las “creaciones especiales” (Thuillier, 1981:274), Por lo que se dedicó a precisar un mecanismo natural que explicara: la gran diversidad de seres vivos presentes y pasados, así como una alternativa a la concepción del diseño perfecto proveniente de un creador que adaptara los organismos –y sus partes— al ambiente (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2008: 455).

Aquello que se conoce como la teoría darwiniana<sup>3</sup> de la evolución, según algunos autores, es en realidad un conjunto de teorías propuestas por Darwin, principalmente en “*El Origen de las Especies*” (Darwin, 1981[1872]), en cuyo núcleo central se encuentra el principio de selección natural, pero además se apoya en varias teorías auxiliares (Thuillier, 1981).

---

3 Es necesario distinguir entre las concepciones actuales del darwinismo, y las ideas originales del mismo. Ya que el darwinismo permite la formulación de la actual teoría sintética evolutiva incluyendo numerosas aportaciones y correcciones. No es acertado emplear el término darwinismo al referirnos a la actual teoría de la evolución, puesto que no solo consiste de las ideas enunciadas por Charles Darwin.

La argumentación del darwinismo consiste en suponer que todos los seres orgánicos tienden a multiplicarse en abundancia, y que un gran número de los mismos serán destruidos en algún momento, por la falta de recursos.

Esta sobrepoblación se enfrenta a una limitación de recursos, que tiene como consecuencia una lucha por la existencia y por dejar descendientes, en donde resultarán victoriosos los individuos portadores de alguna variación que mejore sus posibilidades de dejar un mayor número de descendientes. Estos individuos orientarán la transformación de la especie; de esta forma las especies van cambiando sus características a lo largo del tiempo de una manera gradual y continua.

Respecto a la selección natural el mismo Darwin, en el capítulo 4 del “Origen”, la define como “la conservación de las diferencias y variaciones individualmente favorables y a la extinción de las que son perjudiciales”; entonces la explicación sobre las causa del diseño de los organismos, es la combinación de variación y selección natural. También se le ha señalado como “el principio por el cual toda variación favorable, por ligera que sea, es conservada” (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2008:467), no solamente tiene un efecto preservador y acumulativo, sino que además tiene una impresionante capacidad creadora; como lo podemos apreciar en el surgimiento de órganos complejos como los ojos de los vertebrados. La aparición de tales órganos ha procedido por la modificación gradual de todas las partes del ojo, partiendo de un simple paquete de células fotosensibles.

Cuando se han llegado a realizar simulaciones en ordenadores electrónicos, se ha demostrado que un ojo como el de los vertebrados puede obtenerse (evolutivamente) en menos de 2,000 generaciones, la única condición es que cada modificación sea una mejora al órgano anterior. Así, la



evolución no solo depende de las condiciones actuales, sino de la historia entera del grupo (Endler, 1992:221).

Por otro lado, la selección natural es un proceso oportunista sin dirección prefijada; esto no significa que ocurra debido al azar. Cada paso de la selección es orientado a la mejora en la adecuación del organismo portador, pero la secuencia total no está ordenada ni tiene una finalidad pre-establecida, sino que depende de las condiciones del momento (Monod, 1971).

El cambio evolutivo a través del tiempo y la diversificación evolutiva (multiplicación de especies) no están directamente promovidos por la selección natural, pero a menudo resultan como productos ella. Una consecuencia fundamental de la evolución por selección natural es la adaptación. La adaptación es el resultado de la presión del ambiente, ejercida como fuerza selectiva, sobre las poblaciones orgánicas, a lo largo de grandes periodos de tiempo. De esta manera, las características de las poblaciones se van transformando paulatinamente y llega un momento en que se consolidan como nuevas especies, diversificándose.

El fenómeno de especiación, o la formación de especies nuevas, es entonces, un proceso gradual, en donde las especies derivadas, evolucionan a partir de variedades preexistentes, a través de procesos lentos, en los cuales en cada etapa se mantiene su adaptación específica. La noción de que las especies se diversifican, por adaptación a ambientes o modos de vida diferenciados, ramificándose; es también una noción muy importante.

Aunque para Darwin, la selección natural es el mecanismo principal por el cual se produce la evolución y propagación de las especies naturales, el pensar que es el único mecanismo por el que las especies evolucionan es un

error de interpretación de la teoría. Por eso Darwin sostiene que “ha sido el principal, pero no el único medio de modificación”. (Ruiz Gutiérrez, 2008:9).

Podemos resumir la teoría de la siguiente forma: las especies son poblaciones de individuos que tienen variaciones individuales, pequeñas, infinitas, heredables, en distintas direcciones; y dada la abundancia con que todos los seres orgánicos tienden a multiplicarse, es inevitable que un gran número de los mismos sean destruidos en un momento o en otro, por un medio ambiente limitante. Se establece entonces una "lucha por sobrevivir", entre los individuos de la población y con el medio en general, en la cual resultará triunfador "el más apto" (Darwin, 1981[1872]; Thuillier, 1981).

La evolución se considera como un proceso general que ha operado desde que inició la vida en nuestro planeta, y continúa hasta el presente; el proceso consiste de una transformación lenta y gradual de las especies y una descendencia común entre ellas. El resultado de la evolución es la formación de poblaciones "ajustadas" cercanamente a su ambiente, pero como cada población se ajusta a distinto ambiente, entonces se producirá una divergencia entre ellas, que a largo plazo nos conduce a la diversidad de formas que actualmente existen (Darwin, 1981[1872]).

Si bien Darwin logró cambiar en biología el clásico “pensamiento tipológico” por una forma de “pensamiento poblacional” (que es la base de toda la Biología moderna); uno de los logros más significativos de su teoría es que permite integrar todo un conjunto de resultados establecidos en las diferentes áreas de la biología del siglo XIX como el resultado de explicaciones basadas en el mecanismo de la selección natural (Martínez, 2005:267). Sin embargo la elaboración de un concepto historicista de evolución, que poco a poco se alejara de las interpretaciones teleológicas del proceso, tuvo lugar de manera relativamente independiente en diferentes áreas científicas, y también con

diferentes ritmo y énfasis. Por ejemplo, el desarrollo de la biogeografía evolucionista, uno de las más importantes en cuanto a articulación de argumentos de diferentes ciencias, no tomó fuerza sino hasta después de la publicación del libro de Wallace *Geographical Distribution of Animals*, en 1876 (Martínez, 2005:266).

Darwin se refiere a la evolución como un proceso de "descendencia con modificación". Si bien, las ideas transformistas tienen una larga data (Véase por ejemplo Bernal, 1990; Rostand, 1985; Templado, 1974), es notable como a más de doscientos años de su nacimiento y ciento cincuenta de la publicación de *El origen de las especies*, aún pueda resistir la "estructura" de la teoría que formuló junto con A. R. Wallace (Gould, 2004).

Esto no quiere decir que la teoría estuviera exenta de observaciones, por supuesto, desde que se dio a conocer la teoría darwiniana surgieron innumerables críticas; una cuestión que quedó sin resolver fue la relativa a la herencia (Fontdevila y Moya, 2003; Strickberger, 1993). Y es precisamente desde el campo de la herencia, donde se inicia la formación de la siguiente teoría, con el redescubrimiento de las leyes de Mendel en los albores del siglo XX (Mayr, 1982).

## **TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN**

### **La formulación**

Al celebrarse el primer centenario del nacimiento de Darwin en 1909, la situación que se presentaba en la comunidad científica era la de una confianza en la evolución, junto a una desconfianza en la selección natural como proceso principal, a medida que el recién redescubrimiento de Mendel parecía refutar a la selección (Gould, 2004:93).

Finalmente este panorama dio paso al establecimiento de la teoría sintética después de la unión de la perspectiva darwiniana y mendeliana en las obras de Fisher y otros autores. Para Huxley (en Gould, 2004: 533) éste había sido un proceso de dos etapas; la primera fase involucró la mencionada síntesis de Mendel y Darwin y la eliminación del lamarckismo, el saltacionismo y la ortogénesis. La segunda fase, es también una síntesis en el sentido común del término, e inicia con el libro magistral de T. Dobzhansky de 1937 y continúa como la conjunción de varias subdisciplinas biológicas al núcleo constituido en la primera fase.

Esta última etapa proviene fundamentalmente, de tres campos distintos de la biología: la genética, la sistemática y la paleontología. En el área de la genética, encontramos que Theodosius Dobzhansky publica en 1937 su libro *Genética y el origen de las especies*, en el cual recoge toda la información generada tanto en la genética mendeliana, como en la poblacional; pero también comprende los trabajos matemáticos realizados en las décadas de 1920 y 1930 por Ronald Fisher (1890-1962), J.B.S. Haldane (1892-1964) y Sewall Wright (1889-1088) entre otros. Esto le sirvió para sentar las bases para la comprensión y cuantificación de los principios que regulan la evolución.

Para la síntesis moderna, generalmente la evolución se define como el cambio de un linaje de poblaciones a través del tiempo que involucra cambios morfológicos, fisiológicos, etológicos, moleculares y de desarrollo, con base genética. Esos cambios, obedecen a transformaciones de las frecuencias de los genes que codifican dichos caracteres y están sujetos a la selección natural que actúa por reproducción diferencial (en cuyo caso son adaptativos), a la selección sexual (solo se relacionan con la reproducción) o procesos estocásticos como la deriva genética (en tal caso, ocurren por azar) (Dobzhansky, 1977:8).

Se comienza a contemplar el proceso como cambios de las frecuencias génicas en las poblaciones y se plantea a la microevolución como un fenómeno observable y con el que se puede experimentar (Dobzhansky, 1977).

El desarrollo de la genética de poblaciones dio forma y herramientas matemáticas, a las ideas poblacionales de Darwin y la nueva evidencia confirmó la importancia de la selección natural. Por otro lado dio peso a otras fuerzas evolutivas, sobre todo a la deriva genética: el error de muestreo al azar asociado a las poblaciones reproductivas pequeñas (Wright, 1932).

La segunda gran área que se integró a la síntesis fue la sistemática. Ernst Mayr publicó en 1942 su entrañable libro *Sistemática y el origen de las especies*, en el cual da a conocer sus hallazgos en torno a sus investigaciones ornitológicas en Nueva Guinea y las Islas Salomón. En el mismo hace énfasis en la complejidad de las especies, acentuando su dimensión poblacional temporal y espacial; una de sus mayores contribuciones fue su definición del concepto de especie.

En efecto, Mayr junto con Dobzhansky, (Mayr, 1963) propuso el concepto biológico de especie según el cual, es un grupo natural de poblaciones, cuyos individuos pueden reproducirse entre sí, y que están aislados reproductivamente de otros grupos afines. Este es el concepto más ampliamente aceptado por los biólogos e implica que las poblaciones biológicas actúan como entidades con dinámica propia, constituyendo a la vez linajes evolutivos separados. Mayr también investigó sobre los mecanismos de aislamiento reproductivos y los procesos de especiación (Mayr, 1963).

La tercer área que se integra es la paleontología, ya que George Gaylor Simpson publica su libro *Tempo and Mode in Evolution* en 1944. Especialista en los mamíferos del mesozoico y del cenozoico, profesor en el Museo Americano de Historia Natural (1927-1959), fue uno de los paleontólogos más influyentes del siglo XX; en su contribución esencial a la teoría sintética, conjuga los datos diacrónicos derivados del estudio paleontológico del registro fósil con los datos empíricos de la genética contemporánea.

Para Eldredge (1997:14) los cuatro libros: Dobzhansky 1937, 1941, Mayr 1942 y Simpson 1944 conjuntamente determinan la mayor parte del contenido y de toda la estructura de la teoría evolutiva. Sin embargo muchos otros autores importantes se incorporaron a la síntesis como Julian Huxley (1887–1975), Bernhard Rensch (1900–1990), y G. Ledyard Stebbins (1906–2000).

De hecho Julian Huxley fue el primero en señalar que la evolución "debía ser considerada el problema más central y el más importante de la Biología y cuya explicación debía ser abordada mediante hechos y métodos de cada rama de la ciencia, desde la ecología, la genética, la paleontología, la embriología, la sistemática hasta la anatomía comparada y la distribución geográfica, sin olvidar los de otras disciplinas como la geología, la geografía y las matemáticas" (Huxley, 1942). En su libro *Evolution: The modern synthesis* (1942) introdujo el término *síntesis evolutiva* para designar la aceptación general de dos conclusiones: la evolución gradual puede ser explicada sobre la base de pequeños cambios genéticos (mutaciones) y recombinaciones, y el ordenamiento de estas variaciones mediante la selección natural; y los fenómenos evolutivos observados, particularmente los procesos macroevolutivos y la especiación, que pueden ser explicados de una manera que es compatible con los mecanismos genéticos conocidos (Mayr, 1980:1, en Eldredge, 1997:13).

## **Restricción y endurecimiento**

Si bien ésta es una interpretación de la formulación de la síntesis muy comúnmente aceptada, existen otras interpretaciones dignas de mencionarse, como la señalada en las obras de Gould, quién junto con Will Provine nos refiere a la misma como un proceso de dos pasos: de restricción, y de endurecimiento. El primer proceso puede considerarse en gran medida admirable, pero no así el segundo (Gould 2004: 533-534).

Y es que las primeras afirmaciones de la teoría sintética fueron más pluralistas que las posteriores tanto de los patrones como de los procesos explicativos; más adelante algunos autores afirmaron que el origen, mantenimiento y modificación de las adaptaciones mediante la selección natural, era el proceso evolutivo central (Eldredge 1997:12).

La restricción puede considerarse como bienvenida porque los biólogos podían desprenderse de diversas teorías competidoras e incluso contradictorias (primariamente ortogenéticas y saltacionales) que tanta anarquía habían sembrado en los estudios evolutivos. Dentro de esta primera fase se dejó sitio para un abanico de mecanismos permisibles, ya que los primeros autores querían explicar todos los hechos evolutivos por mecanismos genéticos conocidos (Gould 2004: 533-534).

La segunda fase mantuvo este pluralismo al principio, pero después se estrechó, al mismo tiempo que se fue promoviendo a la selección natural primero a la dominancia, y finalmente a la virtual exclusividad como agente del cambio evolutivo. Había entonces una “omnipotencia” de la selección natural con la exigencia de que los fenotipos deberían analizarse como problemas adaptativos. El endurecimiento pasó a un exceso de confianza, en el que se creyó que ahora se poseía la verdad, y que la explicación completa de la evolución solo requería de algo de limpieza y la revelación de los detalles (Gould, 2004: 534-35).

## Resumen de la teoría sintética

De esta segunda fase, se puede plantear un resumen de la teoría sintética, de la siguiente forma (tomado de Futuyama, 2005:10-11):

1. Las diferencias fenotípicas (características observadas) entre organismos individuales, pueden deberse en parte a diferencias genéticas y en parte a efectos directos del ambiente.
2. Los caracteres adquiridos no se heredan.
3. La variación hereditaria está basada en partículas —genes—, que retienen su identidad al paso de las generaciones.
4. Los genes mutan a formas alternativas igualmente estables llamadas alelos, comúnmente a muy bajas velocidades. Los efectos de las mutaciones van de indetectables a muy grandes. La variabilidad originada por mutación, es ampliada por recombinación entre alelos (reorganización de segmentos de cromosomas).
5. El cambio evolutivo es un proceso poblacional, en su forma más básica involucra un cambio en la abundancia relativa de organismos con diferente genotipo dentro de una población. Un genotipo puede reemplazar gradualmente a otros genotipos en el curso de generaciones. El reemplazo puede ocurrir en una sola población o en todas las que componen una especie.
6. El cambio en la proporción de genotipos en una población puede ocurrir por deriva génica (fluctuaciones al azar) o por selección natural (cambios no al azar, ocasionados por la supervivencia y/o reproducción diferencial de genotipos). Ambas pueden operar simultáneamente.
7. La selección natural puede explicar tanto las diferencias ligeras como las grandes entre especies, así como los estados anteriores en la evolución de nuevos caracteres. Las adaptaciones son caracteres que han sido moldeados por selección natural.
8. La selección natural es capaz de cambiar poblaciones incrementando o disminuyendo la frecuencia de alelos, que cuando se recombinan con otros que afectan al mismo rasgo, conformarán fenotipos nuevos.



9. La variación genética en una población de organismos es tal, que cuando las condiciones del ambiente cambian es capaz de evolucionar rápidamente.
10. Muchos, o al menos varios genes que tienen efectos fenotípicos pequeños, sustentan las diferencias entre las especies distintas, y entre las poblaciones de la misma especie.
11. Comúnmente la selección natural es la responsable de las diferencias geográficas de una misma especie, que entonces son adaptativas.
12. Las especies no se definen simplemente con base en caracteres fenotípicos, ya que dentro de una misma especie solemos encontrar diversos fenotipos; sino más bien porque cada especie representa “una reserva génica” particular; de tal forma que las especies se pueden definir como un grupo de individuos que se entrecruzan real o potencialmente, y que no se reproducen con otros grupos análogos.
13. Respecto a la especiación, que se refiere a la formación de dos o más especies a partir de un solo ancestro común, generalmente ocurre por la diferenciación genética de poblaciones aisladas geográficamente. Esto es así, debido a que la separación de territorios geográficos reduce la posibilidad de que las especies incipientes se puedan reproducir, reduciendo sus diferencias.
14. Los taxa (taxones) de alto rango se originan por la acumulación de pequeñas diferencias, y no por la presencia de mutaciones que resultan en el origen rápido de “nuevos tipos”; esto se sustenta en la gran cantidad de gradaciones que se encuentran entre diferentes especies de un género, distintos géneros de una familia, e incluso en diferentes familias u otros grupos de alto rango.
15. Los principios sobre los que se basa la evolución de poblaciones y de especies pueden ser extrapolados a la evolución de altos taxa; si bien el registro fósil incluye muchas brechas entre las diferentes clases de organismos –que pueden ser explicadas por la incompletitud del mismo—, el registro también incluye ejemplos de gradaciones entre especies bastante distintas.

Si bien es importante mencionar que la síntesis evolutiva moderna es una teoría robusta, que proporciona explicaciones y modelos matemáticos sobre los mecanismos generales de la evolución o los fenómenos evolutivos, y que sus hipótesis están sujetas a constante crítica y comprobación experimental. También hay que señalar que se convirtió en una teoría funcionalista con un núcleo operativo que privilegia la construcción de la adaptación por el mecanismo de la selección natural, en donde la microevolución fue posicionada como el ámbito principal, desplazando a la macroevolución a un segundo plano (Gould 2004: 535).

### **La macroevolución desde la teoría sintética**

A propósito de este último punto, Guillermo Folguera en el 2010, en un artículo titulado *La relación entre microevolución y macroevolución desde la síntesis biológica: entre las diferencias y similitudes*, hace una interesante comparación entre el pensamiento de varios autores importantes de la síntesis —Th. Dobzhansky (1900-1975), S. Wright (1889-1988), G.G. Simpson (1902-1984), E. Mayr (1904-2005), y F. Ayala (1906)— sobre la relación entre la microevolución y la macroevolución, y concluye que aunque hay ideas comunes entre los autores, también tienen sus particularidades evidentes.

Las similitudes fueron dos, la primera es el predominio de la microevolución sobre la macroevolución, y la segunda es el papel secundario de la paleontología respecto de la genética de poblaciones; las diferencias consistieron en el tipo de relación entre la microevolución y la macroevolución, y las relaciones disciplinares involucradas. Por lo tanto estos autores sintéticos sí reconocen los niveles jerárquicos en la evolución, solo que no hay unificación en la conceptualización de la macroevolución (incluso en algún momento, alguno llega a mencionar otros niveles como la mesoevolución y la megaevolución). Pero sobre todo, no conceden que haya una autonomía entre niveles, Simpson —que es el paleontólogo— primero la acepta (1944) al hablar de la megaevolución y después la descarta (1953); únicamente Ayala finalmente la reconoce hasta 1982. Esta forma

en que contemplan los procesos de la macroevolución, se puede vincular con la falta de reconocimiento de la autonomía entre niveles; estos autores continuamente expresan que la microevolución predomina en las explicaciones macroevolutivas, que todos los procesos y fenómenos de la macroevolución y el origen de las categorías superiores pueden remontarse a la variación intraespecífica, a través de variaciones y selección natural o deriva génica de poblaciones.

También es interesante señalar cómo estiman el registro fósil, ¿qué pasa con la que suele esgrimirse como una de las “pruebas” de la evolución? (Freeman y Herron, 2002:22 y ss.). Pues bien, en general los sintetistas le conceden una trascendencia marginal, porque para ellos la macroevolución no puede ser observada en acción y únicamente podemos estudiar sus productos finales ya que los fósiles no son susceptibles de ser abordados experimentalmente. Por lo tanto, aunque se esgrime como una “prueba de la evolución”, se le considera como una evidencia insuficiente negándose la posibilidad de generar desde la paleontología un marco teórico solvente para la macroevolución. Todo lo anterior resulta en una posición bastante asimétrica de la macroevolución respecto a la microevolución en la teoría sintética, debido a que (según se argumenta) la paleontología no permite responder a los mecanismos evolutivos que operan en sus niveles correspondientes, en función de su metodología y su campo fenoménico (al no tratarse de organismos vivos) (Folguera 2010:291).

Esta asimetría, también se puede vincular con las propias relaciones disciplinares dentro de la síntesis, establecidas a partir de que el marco teórico de la genética de poblaciones se consolidó como parte del “núcleo duro” de la teoría relegando a otras disciplinas como la sistemática, la paleontología y la ecología; de aquí que la paleontología se ve restringida como disciplina, a la presentación de fenómenos macroevolutivos que deben ser analizados mediante los propios mecanismos microevolutivos: selección, deriva, migración y mutación. Coincido con Folguera (2010) en que éste no parece ser un problema formal de reducción de teorías, más bien parecen ser necesarios otros enfoques desde la paleontología.

## Críticas a la teoría sintética

Cabe mencionar que uno de los principales artífices de la teoría sintética, Ernst Mayr, ha reconocido que aún existen controversias en la evolución, al mencionar: "...descubrí que en el campo de la biología existen numerosas controversias no resueltas que tienen que ver con problemas tales como el de la especie, la naturaleza de la selección, el reduccionismo, y varios otros" (Mayr, 2006:10).

Entre los aspectos más criticados se encuentran: el gradualismo, la preponderancia de la selección natural frente a procesos estocásticos, el programa adaptacionista, la explicación al comportamiento altruista, la relación genotipo-fenotipo, el reduccionismo genetista, el papel del ambiente en el proceso evolutivo (Folguera y González Galli, 2012:8-11).

Por ejemplo, Eldredge señala que la teoría sintética es incompleta y parcialmente incorrecta y afirma "si la forma general (Gestalt) es de una elegante simplicidad, su inconveniente es que se han dejado fuera demasiadas cosas" (1997:20, 25). Además sostiene que la teoría neodarwinista no ha integrado con éxito el mecanismo de la descendencia con modificación y el origen de las especies; el primero relacionado con la genética, mutación, recombinación y selección natural, el segundo con la especiación (Eldredge, 1979:7,17).

Una conocida controversia se relaciona con el programa adaptacionista, y fue abordada por Stephen Jay Gould y Richard C. Lewontin en 1979, al escribir un influyente artículo titulado, *The spandrels of San Marco and the panglossian*

*paradigm: a critique of the adaptationist programme*<sup>4</sup> en donde hacían observaciones al tratamiento de la adaptación y al reduccionismo en Biología. A más de 30 años de la publicación de éste, el discurso de la biología ha cambiado radicalmente, con la afluencia de nuevas ideas y las tradiciones científicas de la genómica en la biología evolutiva, las controversias asociacionistas viejas se han reciclado en un nuevo contexto. Ahora se tiene la habilidad de detectar acciones de la selección pasadas, aunque la combinación de un efecto funcional y uno selectivo, no demuestra que la selección actuó sobre la característica específica de que se trate (Nielsen, 2009: 2487-2488).

Más aún, Dressino y Lamas (2006:403) al analizar el papel desempeñado por la selección natural en relación a la adaptación, concluyen que los problemas de este programa (adaptacionista) socaban las explicaciones adaptativas en su versión dura, sobre todo respecto a la generalidad de la selección natural. Ellos sustentan su afirmación fundados en los datos aportados por la evo-devo<sup>5</sup> sobre el surgimiento de rasgos adaptativos sin intervención de la selección natural, por lo que la universalidad de la selección natural como mecanismo explicativo de las adaptaciones, ya no es defendible. Un ejemplo sugerente lo constituye la evolución de las serpientes, en donde Cohn y Tickle (1999 en Dressino y Lamas, 2006:411) demostraron experimentalmente que la pérdida de miembros de los ofidios, se debió a un proceso que implicó la expansión de los dominios de expresión de los genes HoxC8 y HoxC6, en contra de la explicación tradicional la cual señalaba que se habían perdido por la interacción adaptación-selección como respuesta a un modo de vida fosorial o acuático.

Por lo pronto, Rose y Lauder (1996) afirman que "el nuevo adaptacionismo debe enfrentarse al hecho de que los componentes mayores del diseño de los organismos actuales pueden representar más una mezcla de partes ancestrales, que una combinación de características surgidas *de novo* en respuesta a fuerzas selectivas

---

<sup>4</sup> Las enjutas de San Marco y el paradigma panglossiano: una crítica del programa adaptacionista.

<sup>5</sup> Evo-devo hace referencia a la "Biología evolucionaria del desarrollo", la cual se comentará más adelante.

específicas” (en Dressino y Lamas 2006:411-412), esto se debe a que la evolución ha procedido a partir de un conjunto relativamente limitado de genes comunes a todos los organismos, como lo sugieren los distintos proyectos genoma.

Respecto a la relación entre genotipo y fenotipo, y la ampliación de los sistemas de la herencia, se ha producido un apoyo empírico a algunas consideraciones sobre un desacople (al menos parcial) entre genotipo y fenotipo. Algunos autores como Jablonka *et al.* (2006) basados en dicho desacoplamiento, sostienen que “el punto de inicio” de los estudios debe ser ahora el fenotipo y no ya el gen, como ocurría claramente en el marco de la síntesis evolutiva. Jablonka y Raz (2009 en González Galli y Meinardi, 2013:225- 226) han estudiado la herencia epigenética, que es un proceso que ocurre cuando variaciones fenotípicas que no están basadas en variaciones del DNA son transmitidas a subsecuentes generaciones de células u organismos. Uno de los ejemplos mejor entendido de herencia epigenética es la metilación del DNA, en este caso la adición al DNA de grupos metilo repercute en la expresión de los genes, comúnmente inhibiendo la transcripción; lo importante es que el patrón de metilación puede modificarse en respuesta a factores ambientales. En este sentido se puede interpretar como "adquirido", interesantemente los patrones de metilación pueden ser heredados a las células hijas (Brooker, 2012, en González Galli y Meinardi, 2013:225- 226), sin embargo no se ha comprobado en animales, plantas y hongos.

Los cambios epigenéticos hoy cuentan con cierto consenso en la comunidad académica, aunque no se trata de las únicas unidades de herencia involucradas. En principio, siguiendo a Jablonka y Lamb (2010), debieran considerarse tanto los sistemas de herencia genéticos y los epigenéticos, como los comportamentales, y en el caso del *Homo sapiens* la herencia simbólica. Así, el análisis de los nuevos sistemas de herencia conlleva a una reconceptualización general, quitándole la “exclusividad” al gen, no solo como la única unidad de información, sino también respecto a su rol central de ser considerado el “responsable” de las semejanzas y diferencias a través de las generaciones (González Galli y Meinardi, 2013:10).

Desde esta perspectiva, el ambiente no únicamente se considera como un “filtro” de la diversidad orgánica, sino también como una serie de estímulos que pueden modificar aspectos del organismo durante su desarrollo, “dirigiendo” su cambio; lo que se ha considerado como una “inducción ambiental”. Esto tiene una ventaja epistémica, y es su capacidad de explicar procesos rápidos, ya que se puede afectar una gran cantidad de individuos en una población determinada, sin tener que “esperar” el origen de determinada variante a partir de un proceso aleatorio generador de variabilidad (Jablonka, et al., 2006).

Pues bien, las cuestiones que se han debatido en las recientes décadas no han sido menores, y han orillado a muchos investigadores a proponer una nueva teoría o al menos a modificar la que hasta hoy predomina. La nueva propuesta deberá integrar a la biología del desarrollo, e incorporar una serie de descubrimientos biológicos como mecanismos hereditarios epigenéticos, la transferencia horizontal de genes; o propuestas como la existencia de múltiples niveles jerárquicos de selección o la posibilidad de fenómenos de asimilación genómica para explicar procesos macroevolutivos (Eldredge y Gould, 1972; López, 2009:354; Muñoz-Durán, 2009; Noguera y Ruiz Gutiérrez, 2010; Pievani, 2012; Pigliucci, 2009; Sidlauskas, et al., 2009 y otros). Revisar el Apéndice 1. “Propuestas para una nueva síntesis evolutiva”.

Por el momento, aquí se mencionan algunas de las más importantes teorías elaboradas en la última parte del siglo XX, que pretendieron explicar de una mejor manera varios de los aspectos polémicos ya descritos y son la teoría neutralista y casi neutralista, la endosimbiótica serial, la biología evolucionaria del desarrollo, pero particularmente nos detendremos en la teoría del equilibrio puntuado, que es la que nos ocupa en este trabajo.

## **Teorías propuestas en la segunda parte del siglo xx**

### **Teoría neutralista y casi neutralista**

La teoría neutralista de la evolución molecular desarrollada por Motoo Kimura (1924-1994) sostiene que la gran mayoría de las mutaciones en las secuencias de DNA o proteínicas de los organismos son neutrales respecto a la adecuación (fitness) y se fijan en la población por efecto de la deriva génica, sólo una pequeña minoría de mutaciones resultan ventajosas para sus portadores y son fijadas por selección natural, mientras que otro pequeño porcentaje es eliminado (Keller, 1992; Futuyma, 2005:236). Cabe aclarar que la teoría neutralista no niega el papel de la selección natural sobre algunos pares de bases o amino ácidos, sino que señala que la mayor parte de la variación observada a nivel molecular tiene poco efecto en la adecuación, ya sea porque la diferencia entre las bases no se traduce a proteínas distintas, o porque las variaciones en la secuencia de aminoácidos tienen poco efecto en la fisiología de los organismos, y por lo tanto son “invisibles” a la selección natural (Futuyma, 2005:236; González Galli y Meinardi, 2013: 225).

Más aún, esta teoría sostiene que las substituciones evolutivas a nivel molecular proceden a una velocidad constante, tanto es así que el grado de diferencia en las secuencias de distintas especies, pueden servir como un reloj molecular, ayudando en la determinación de la divergencia de especies en el tiempo (Futuyma, 2005). Actualmente, el neutralismo y el neutralismo débil, indagan la gran cantidad de variaciones y secuencias en el genoma sin origen adaptativo ni selectivo, e incorporan modelos matemáticos robustos. Concluyen que la selección natural no es el único factor del cambio genómico, pero si es uno de los más importantes; además es necesario estudiar caso por caso para ver las frecuencias relativas entre patrones selectivos y no selectivos. (Pievani, 2012:216).



## **Teoría endosimbiótica serial**

La teoría endosimbiótica fue desarrollada por Lynn Margulis (1938-2011), y postula el origen de la célula eucariota (nucleada), a partir del establecimiento de una serie de relaciones simbióticas mutualistas entre bacterias y archaea. El conjunto ancestral de genes eucarióticos es una quimera compuesta de genes de origen bacteriano y de archaea, gracias a un evento endosimbiótico que dio origen a la mitocondria y aparentemente antecedió al último ancestro común de todos los eucariotes (González Galli y Meinardi 2013:224-225; Koonin y Yutin, 2014:1). El proceso de evolución desde la raíz de la filogenia universal hasta las modernas Bacteria y Archaea se entiende esencialmente como un refinamiento; pero en contraste, la evolución de los Eucarya (células nucleadas) implicó grandes innovaciones que pueden ser explicadas por procesos endosimbióticos (Freeman y Herron, 2002:500). Actualmente, este origen endosimbiótico de los organelos se acepta ampliamente, aunque aún se discute si la misma explicación se justifica para el origen de otros organelos (Futuyma, 2005).

La trascendencia para la evolución de las relaciones simbióticas, tales como las multisimbiosis liquénicas y las micorrizas, ha sido resaltada por distintos autores; más aún se ha llegado a considerar a la endosimbiosis como un caso particular del proceso conocido como transferencia lateral de genes, que es habitual entre las bacterias mediante procesos de conjugación, transformación y transducción (Dupré, 2011; en González-Galli y Meinardi, 2013: 224-225; Latorre Castillo, 2010; Margulis y Sagan, 2002; Sadava et al., 2009).

## **Biología evolucionaria del desarrollo**

La biología evolucionaria del desarrollo, a diferencia de las principales corrientes del neo-darwinismo, no centra su atención explicativa sobre las adaptaciones o en su ausencia; más bien, la biología del desarrollo tiene como objetivo explicar la forma orgánica y sus orígenes en el embrión, el *explanandum* no es la adaptación, sino la forma; de este modo, las limitaciones propuestas por los teóricos del

desarrollo, no son las constricciones en materia de adaptación, sino las limitaciones en la forma (Amundson, 1994: 563-564 en Bermúdez Rey, 2014).

La explicación de la primacía de la forma es sencilla (Bermúdez Rey, 2014:54) debido a que la adaptación (el objeto de la explicación final del adaptacionismo) consiste en la relación entre la forma orgánica y el ambiente; por lo tanto es necesario conocer tanto la forma como el ambiente para poder hablar de adaptación de la una al otro, el conocimiento de la forma es explicativamente anterior al de la adaptación.

El desarrollo embrionario u ontogenia<sup>6</sup> tiene un impacto importante en la filogenia<sup>7</sup>, debido a que toda variación evolutiva posible que pueda estar sometida a la selección natural, tiene que poder corporizarse en una alteración ontogenética viable. "Para producir una modificación en la forma adulta, la evolución debe modificar el proceso embriológico responsable de esa forma. Por eso, para comprender la evolución es necesario comprender el desarrollo" (Amundson, 2005 en Caponi, 2009:142).

La modificación de la forma adulta debe ser accesible para el sistema de desarrollo, con posibilidad de ser producida en y por el mismo proceso ontogenético; y que no termine en un organismo inviable o abortado. Las exigencias de la ontogénesis no son menos demandantes que las ecológicas; las limita y las orienta (Hall, 1992; Wilkins, 2002 en Caponi, 2009:142).

Para los teóricos de la Evo-devo, las homologías no solo son el residuo de una forma ancestral común, ya que más bien la permanencia de ciertos caracteres, o la

---

<sup>6</sup> Desarrollo del individuo, referido en especial al período embrionario. Diccionario de la lengua española. 22ª Ed.

<sup>7</sup> Origen y desarrollo evolutivo de las especies, y en general, de las estirpes de seres vivos. Diccionario de la lengua española. 22ª Ed.

constancia de relaciones entre caracteres, son el resultado de constreñimientos ontogenéticos. La constancia de ciertos rasgos o conformaciones particulares, en algunos taxones, puede deberse a que su modificación podría exigir reprogramaciones ontogenéticas improbables o hasta imposibles, más bien que el hecho de que la selección natural los hayan dejado inalterados (Amundson, 2001b en Caponi, 2009:144). La teoría sugiere un papel muy importante de las constricciones en la variación –por las constricciones internas del desarrollo—, para los sistemas de innovación, las cooptaciones<sup>8</sup> funcionales, y los cambios con una lógica modular<sup>9</sup> (Pievani, 2012: 217).

Esta perspectiva nos ayuda a apreciar que los nuevos descubrimientos de la biología molecular, están poniendo de manifiesto una complejidad del genoma distinta a una disposición lineal de genes independientes; por el contrario, el genoma aparece como una red altamente compleja de genes interconectados, sujetos a múltiples regulaciones en cascada, con secuencias móviles capaces de transponerse y reordenarse (Moratalla et al., 2009). Estos procesos son difícilmente compatibles con la idea de la lenta acumulación de mutaciones como motor de la variabilidad genética.

## **TEORÍA DEL EQUILIBRO PUNTUADO**

Desde otro ámbito, si nos referimos al registro fósil, éste no parece apoyar el cambio gradual que predice la teoría sintética, tal como sería de esperar si la variabilidad genética fuera el resultado de una lenta y progresiva acumulación de mutaciones. Más bien el registro fósil indica una evolución a saltos. Es decir, grandes periodos sin cambios aparentes en las poblaciones seguidos de rápidas radiaciones en las que aparecen gran número de nuevas especies (Fontdevilla y

---

<sup>8</sup> La cooptación es un proceso de adaptación de una estructura, para una nueva función distinta de su función original (Fontdevilla y Moya, 2003:63).

<sup>9</sup> Un cambio modular consiste en la repetición, por una serie rápida de duplicaciones genéticas, de un módulo básico preexistente; en los animales este módulo a veces ha consistido en un gen Hox original y toda su batería de genes downstream (Sampedro, 2004: 155).

Moya, 2003). En los últimos años, se ha hecho evidente que los fenómenos macroevolutivos no pueden ser comprendidos solamente a través de la extrapolación de los procesos observados a nivel de las poblaciones y especies (Carroll, 2000; Gould, 2004; Kutschera y Niklas, 2004; Pigliucci, 2009; Sampedro, 2004).

## **Artículo inicial**

En 1972 N. Eldredge y Stephen Jay Gould plantearon la teoría del equilibrio puntuado (TEP), que señala que gran parte del cambio evolutivo no es gradual, sino que las especies atraviesan largos periodos de estasis, luego de los cuales sufren rápidas explosiones de especiación (Eldredge y Gould, 1972; Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002: 172). Ya en 1971, los paleontólogos Niles Eldredge y Stephen Jay Gould presentaron en un Simposio titulado “Modelos en paleobiología”, un artículo en donde acuñaron el término “Equilibrio puntuado”. El organizador del simposio, J.M. Schopf los había invitado a un seminario de teoría evolutiva moderna para paleontólogos de invertebrados, dentro de la Reunión Anual de la Sociedad Geológica Americana; el propósito era aplicar las ideas microevolutivas sobre la especiación a los datos del registro fósil y la escala de tiempo geológica (Gould, 2004:805).

Gould relata “Escribí la mayor parte de nuestro artículo de 1972, y acuñé la denominación de “Equilibrio puntuado”, pero la estructura básica de la teoría pertenece prioritariamente a Eldredge”. Esta primera publicación se intituló “Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism”<sup>10</sup> (Gould, 2004:806).

---

<sup>10</sup> “El equilibrio puntuado: una alternativa al gradualismo filético”.

En el artículo se hace referencia al problema de las brechas en paleontología, aduciendo que es antiguo y se ha explicado de diversas formas. Por ejemplo:

A. Para mostrar que la generación espontánea es un “hecho”

B. Para ilustrar la incompletitud del registro fósil.

Pero, los autores le dan una tercera interpretación; que la especiación alopátrica en poblaciones pequeñas y periféricas automáticamente resulta en “brechas” en el registro fósil (Eldredge y Gould, 1972:83).

Posiblemente, Darwin vio en el registro fósil un obstáculo más que un apoyo para su teoría (y lo explica por la imperfección del registro fósil), pero en la teoría sintética, la paleontología retomó esta explicación y también formuló su visión para el origen de nuevos taxones en la perspectiva darwiniana, llamada por los autores del artículo “gradualismo filético”. Las propuestas del gradualismo filético son:

1. Las nuevas especies se originan por la transformación de una población ancestral en sus descendientes modificados.

2. La transformación es lenta y uniforme.

3. La transformación involucra grandes números y comúnmente poblaciones ancestrales enteras.

4. La transformación ocurre sobre todo en gran parte del rango geográfico de la especie ancestral.

Las consecuencias del gradualismo filético son varias, para la paleontología<sup>11</sup> hay dos importantes;

A. Para el origen de una nueva especie, idealmente, el registro fósil debería consistir de una larga secuencia de formas continuas intermedias, insensiblemente graduadas uniendo al ancestro y descendiente.

---

<sup>11</sup> Cabe señalar que el paleontólogo G. G. Simpson propuso la especiación cuántica, que no se apega al gradualismo filético.

B. Los cortes o brechas morfológicas en una secuencia filogenética postulada, se deben a imperfecciones en el registro geológico” (Eldredge y Gould, 1972:89).

Aún más esta visión tiene influencia sobre muchos otros puntos: por ejemplo el gradualismo filético no explica el origen de la diversidad de las biotas. Por lo que Eldredge y Gould señalan que es mejor explicación la especiación alopátrica (*sensu* Ernst Mayr), en donde la nueva especie se origina en aislamientos periféricos, ya que es extremadamente improbable que tracemos la división gradual de linajes. En la morfología, la mayoría de los cambios evolutivos ocurren en un corto periodo, en relación al tiempo de duración de la especie. Después de que la especie nueva se estableció totalmente como tal, deberá haber poco cambio evolutivo, excepto cuando entran en simpatría por vez primera. Estas consecuencias de la especiación alopátrica se combinan en un patrón esperado en el registro fósil (Eldredge y Gould, 1972:94-96).

La selección natural con todas sus gradaciones y formas intermedias, ocurre realmente, pero en una zona tan pequeña y en un tiempo, geológicamente tan corto, que no deja huella fósil en los estratos. Una vez formada la nueva especie, siempre podrá diseminarse por una zona geográfica más amplia y será diferente de la especie antigua, por lo que no podrán entrecruzarse. Entonces es posible que la nueva especie reemplace completamente a la antigua y permanezca estable por 5 o 10 millones de años, y con oportunidad de fosilizar. De esta manera los estratos geológicos serán como los vemos (Sampedro, 2004:68).

En correspondencia con los principios del gradualismo filético, los que predicen la especiación alopátrica son:

1. Las nuevas especies se originan por división de linajes.
2. Las nuevas especies se desarrollan rápidamente.

3. Una pequeña subpoblación de la forma ancestral da origen a la nueva especie.

4. Las nuevas especies se originan en una parte muy pequeña de la distribución geográfica de la especie, en un área aislada de la periferia del rango. Es importante enfatizar que para analizar la filogenia de las formas debe evaluarse morfología, estratigrafía y geografía juntas. (Eldredge y Gould, 1972: 96-104).

En este primer artículo se aceptaba que las tendencias eran fenómenos reales e importantes en la evolución, y seguían la definición de MacGillavry (1968: 72) “Una tendencia es una dirección que involucra a la *mayoría* de los linajes relacionados de un grupo” (Eldredge y Gould, 1972:111-113).

En suma, en este trabajo, Eldredge y Gould llamaban la atención sobre el registro fósil y su mejor ajuste a la teoría de la especiación alopátrica, el cual implica que un linaje histórico presente una estabilidad morfológica por un largo período, puntuado por rápidos eventos de especiación en subpoblaciones aisladas. Además señala que las tendencias se pueden entender como el producto del éxito diferencial de las especies que exhiben cambio morfológico en una dirección determinada.

### **Sobre el gradualismo y el saltacionismo**

En párrafos anteriores se señala que esta historia inició en 1972, si bien, algunos autores han hecho la reflexión de que desde el mismo origen del evolucionismo, hubo una disputa entre gradualismo y saltacionismo, puesto que Thomas Huxley y Francis Galton rechazaron el señalamiento darwiniano de que “la naturaleza no da saltos. La siguiente vez en la que se enfrentaron gradualistas y saltacionistas (continuistas y discontinuistas) fue a principios del siglo XX cuando se opusieron mendelianos y biometristas. En 1906 Bateson y

De Vries, apoyados en el mendelismo y en el descubrimiento de cambios súbitos en *Oenothera lamarckiana* que estudió De Vries, se pronunciaron por cambios bruscos (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002: 174-175). Más entrado el siglo, Fisher, Haldane y Wright integraron los pensamientos de Mendel y Darwin, para que Dobzhansky y Mayr finalmente puntualizaran los conceptos de la Síntesis que son aceptados por la mayoría de los biólogos, y se generalizó el acuerdo sobre la gradualidad de la evolución (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002: 175).

Solo Simpson en su libro *Tiempo y modo en evolución*, sostuvo una forma de evolución “cuántica” que puede producir rangos taxonómicos altos, como familia, clase y otras; llamada así en alusión al concepto físico de “quantos” que refiere a una magnitud definida y discontinua; el proceso fue llamado megal-evolución. Para 1944 Simpson, sostenía que la especiación cuántica se aplica al “...cambio relativamente rápido de una población biótica en desequilibrio distinto a la condición ancestral”. En la megal-evolución puede estar involucrada la especiación (cladogénesis) o la evolución filética, pero es un proceso diferente a cualquier éstas; debido a que involucra poblaciones muy pequeñas, no hay formas fósiles intermedias, y tiene una tasa de cambio taquitética (una evolución muy rápida), debido a que interviene la deriva génica.

Para Simpson la evolución cuántica, la evolución filética y la especiación son resultado del cambio de picos adaptativos, respecto al modelo de *Shifting balance* de S. Wright. La evolución cuántica puede dar origen a grupos taxonómicos de cualquier rango, pero es el proceso esencial y dominante en el origen de las unidades de rango relativamente alto, tales como familia, orden y clase. El origen de tales grupos involucra el surgimiento de un tipo adaptativo nuevo, o el cambio de un pico adaptativo a otro. En la evolución cuántica, el equilibrio del sistema organismo-medio se pierde, y es alcanzado con nuevos equilibrios. El intervalo entre equilibrios puede dividirse en tres fases: una fase



inadaptativa, en la que el grupo en cuestión pierde el equilibrio de sus ancestros o colaterales, una fase preadaptativa, en la que la población se encuentra entre dos picos adaptativos, y finalmente una fase adaptativa, en la que se logra un nuevo equilibrio (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002: 177).

Simpson (1944) señala que las evidencias son las secuencias paleontológicas de evolución cuántica de un tipo transaccional relativamente menor en el registro, y más indirectas pero convincentes, las mayores transiciones tienen lugar en tasas relativamente grandes sobre cortos periodos de tiempo y en circunstancias especiales. “Los fundadores del equilibrio puntuado admiten haber tomado de Simpson su apreciación acerca del patrón histórico de la evolución como “paquetes” de cambio muy rápido mediado por cambios de evolución muy lenta.” (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002); sin embargo, después de 1947 —año en que se efectuó el Congreso de Princeton—, Simpson se convenció de la gradualidad de la evolución, y de que la macroevolución es el resultado de la microevolución acumulada (Ruiz Gutiérrez y Ayala, 2002).

### **Etapas del Equilibrio Puntuado**

Desde su inicio la teoría del equilibrio puntuado desató una gran polémica, que se incrementó a partir de su posterior radicalización, para finalmente disminuir en intensidad (Cachón y Barahona, 2002:84). Uno de los iniciadores de la teoría, Stephen Jay Gould muere de cáncer en Nueva York a los sesenta años de edad, el 20 de mayo de 2002, pero Niles Eldredge continúa activo (Véase por ejemplo Eldredge, 2015, y Eldredge. et al. 2005).

En su primera etapa —que comienza con el artículo fundacional de 1972— las propuestas de Eldredge y Gould fueron presentadas como un ajuste necesario que debía hacerse a los estudios paleontológicos para que éstos

fueran congruentes con el mecanismo de especiación peripátrica propuesto por Ernst Mayr. Bajo esta moderna concepción del proceso de especiación, el registro fósil quedaba al fin bien entendido y, por lo tanto, ya no había necesidad de ninguna hipótesis auxiliar que sostuviera que este registro era incompleto. Sin embargo, con ninguna de las propuestas de este artículo pretendían sus autores enfrentarse a la síntesis moderna, al contrario lo que sostenían era que sólo ahora, se estaba aplicando correctamente a la paleontología, el mecanismo de especiación que formaba parte de la teoría sintética de la evolución; pero a pesar de esto la polémica no se hizo esperar.

La confrontación con la síntesis moderna se suscita, y el primer aspecto que recibió atención en contra, fue la imagen contundente que daban del patrón de la evolución. Mayr (1992) hace notar que ellos, si bien no mencionaban explícitamente en su artículo inicial que una especie recién formada entra en un período de estasis total, sí es precisamente eso lo que mostraban en las gráficas <sup>12</sup>, más aún las tendencias evolutivas eran presentadas como el resultado de un proceso de selección al nivel de especies entre entidades completamente estáticas.

Un segundo elemento que provocó reacciones contrarias, lo constituyó la presentación de la teoría como algo completamente novedoso ya que Gould y Eldredge (1977) han insistido en que ellos fueron los primeros en llamar la atención sobre varios fenómenos evolutivos como diferentes tasas de cambio, aparición rápida de especies, y estasis; pero para otros autores eran fenómenos ampliamente aceptados en la literatura sobre evolución (Stebbins y Ayala, 1981). La tercera situación que despertó hostilidad fueron los reclamos acerca de que la síntesis moderna necesitaba ser revisada. Dawkins (1996), entre otros, insistió desde el inicio de la polémica, en que el modelo del equilibrio puntuado podía entrar perfectamente en la esfera gradualista de la teoría sintética de la evolución; no había

---

12 Se refiere a las figuras 5-4, 5-8 y 5-10 de Eldredge y Gould (1972).

necesidad de contar con procesos macroevolutivos particulares para explicar las transformaciones evolutivas, aunque éstas fueran “puntuadas”.

Pronto se sumaron a la teoría del equilibrio puntuado otros connotados paleontólogos, como Steven Stanley (2005), Alan Cheetham, P. G. Williamson y Donald Prothero. Se hicieron importantes estudios cuyos resultados parecían validar el nuevo esquema teórico, entre estos estudios resalta en primer lugar, el elaborado por Eldredge (1971) con un linaje de trilobites del Devónico y que fue el que aportó la base empírica inicial para el artículo fundacional de la teoría.

Se trata de un estudio acerca de las poblaciones del Devónico Medio de Norteamérica, preservadas en sedimentos epigenéticos, de trilobites de la familia de los facopideos. Estos trilobites tienen ojos compuestos, y cada ojo se compone de múltiples lentes diminutas, dispuestas en franjas verticales. Pero la mayoría de las especies no muestran cambios en estos caracteres en su ocurrencia estratigráfica, y el modelo filético es inaplicable en la mayoría de los elementos. En su lugar el cambio es visto ocurriendo relativamente rápido en aislamientos periféricos, específicamente se resalta el caso de *Phacops rana* (Eldredge 1971: 166-167).

Por otro lado, Gould realizó sus primeros trabajos en el género *Poecilozonites* de las Bermudas y posteriormente en el género *Cerion* del Caribe que es el caracol terrestre con mayor diversidad de forma de todo el mundo con 600 especies descritas. En el primer caso, investigó la evolución de *Poecilozonites bermudensis zonatus* Verril (un pequeño caracol pulmonado) en los últimos 300,000 años del Pleistoceno de las Bermudas, facilitando el trabajo la pequeña área que ocupan y la gran diferenciación de unidades estratigráficas, que permitieron un alto grado de control geográfico y temporal, además de la existencia de distintos patrones de coloración de las bandas en las poblaciones del oeste y las del este.

Lo que encontró fue que *P. bermudensis zonatus* de ambas zonas evolucionan en paralelo, después del depósito de las dunas de Southampton se extinguen y son

reemplazadas por *P. bermudensis bermudensis*, una derivación de *P. bermudensis zonatus* del este. Hay evidencias de una oscilación paralela en respuesta a las variaciones glaciales del clima, varias muestras indicaron que había algunos caracteres que los distinguían. Gould concluyó (1969) que las muestras de *P. bermudensis* se derivaron de *P. bermudensis zonatus* por pedomorfosis (Eldredge y Gould, 1972:99 y sigs.).

Gould también realizó la primera investigación con mamíferos del género *Ischyromys*, del Oligoceno. Los *Ischyromys* del Orellense (la parte media del Oligoceno) del Oeste norteamericano habían sido objeto de una interpretación tradicional consecuente con el modelo gradualista convencional, había un incremento constante de tamaño en el seno de una sola especie; sin embargo el trabajo estadístico realizado por Gould y Heaton sobre varios miles de especímenes refutó esta idea en favor de una interpretación opuesta, ya que ninguna de las dos especies muestra modificaciones significativas. Es importante enfatizar que para ver la filogenia de las formas debe evaluarse morfología, estratigrafía y geografía juntas (Eldredge y Gould, 1972: 104).

Un ejemplo interesante de ello, es el del depósito fosilífero de los moluscos del lago Turkana, situado al noreste de Kenya, en una secuencia de estratos correspondientes al Cenozoico tardío. Los taxones fósiles que contiene la secuencia están inusualmente bien representados, son muy abundantes, pertenecen a grupos taxonómicos muy heterogéneos y además pertenecen a linajes que aún tienen especies vivas, esto es muy importante porque entonces, es posible hacer comparaciones e inferencias entre especies fósiles y vivas (Williamson, 1981). Williamson tomó medidas a miles de especímenes correspondientes a 13 linajes diferentes, sus resultados fueron los siguientes: el patrón filogenético de todos los moluscos estudiados resultaba consistente con el previsto por el modelo del equilibrio puntuado, períodos muy largos de estasis morfológica en todos los linajes aparecían puntuados por rápidos episodios de cambio fenotípico. Además, en al menos dos casos, habían

quedado claramente documentados los eventos de especiación ocurridos en poblaciones periféricas aisladas (Williamson, 1981: 436 y sigs.). Este evento de especiación (según se estimó) debe haberse llevado a cabo en un período de entre 5.000 y 50.000 años en todos los casos, y previó al momento de cladogénesis, Williamson encontró que las poblaciones periféricas entraban en una fase de elevación significativa de su varianza fenotípica, lo cual interpretó como un período de inestabilidad ontogenética, provocado por la alteración de los mecanismos de homeostasis génica que antecedería a los eventos de especiación (Williamson, 1981).

Resulta claro que la interpretación de Williamson a favor del equilibrio puntuado ha sido muy criticada, pues su visión del registro como resultado del surgimiento de especies nuevas iniciado por aislamiento peripátrico y subsecuente estasis, no fue aceptada por algunos autores. Entre otras observaciones se ha mencionado que las especies pueden ser variedades adaptadas a condiciones cambiantes, que el número de especies reportadas puede estar sobre o subestimado, y la secuencia se pudo haber contaminado con fósiles de otras especies transportadas por el agua a partir de otras localidades. Collingridge y Earthy 1990, analizan con detalle las críticas y las respuestas de Williamson (En Ruiz y Ayala, 2002:172-173).

Los autores del equilibrio puntuado se radicalizaron entre 1977 y 1982, se podría decir que su punto culminante tuvo lugar con la publicación del artículo de Gould de 1980 *Is a new and general theory of evolution emerging?*.<sup>13</sup>

En el artículo se declara “muerta” a la síntesis moderna. Se invocaron nuevamente la especiación de Ernst Mayr y a la deriva génica de Sewall Wright en apoyo a su afirmación de que la especiación siempre debería ser

---

<sup>13</sup> ¿Está emergiendo una teoría general y nueva de la evolución?

muy rápida, debido a revoluciones genéticas, las cuales interpretaban de una manera parecida a la de Richard Goldschmidt, en el sentido de que tendrían grandes efectos fenotípicos que conducirían al inmediato surgimiento de taxones de alto rango (Gould, 1980). La teoría del equilibrio puntuado se presentaba entonces como una alternativa a la síntesis moderna, el cambio fenotípico gradual está prácticamente ausente y los períodos de completa estasis fenotípica de las especies son interrumpidos únicamente mediante eventos de especiación; la especiación resultaba ser un fenómeno evolutivo causado por un proceso macroevolutivo propio, irreductible a los procesos de cambio microevolutivo (Gould, 1980), es decir había una diferencia biológica fundamental entre los procesos que rigen la microevolución y los que rigen la especiación. Adicionalmente, se disminuyó la importancia de la adaptación, con la consiguiente restricción del papel de la selección natural, y las macromutaciones (probablemente debidas a nuevos arreglos cromosómicos) podrían provocar cambios importantes en las especies en el lapso de sólo una o dos generaciones (Gould, 1982).

El puntualismo se ha ido transformando (Gould y Eldredge, 1986), Gould en uno de sus artículos sobre equilibrio puntuado declaró que “el neodarwinismo estaba muerto” y se requería de una nueva síntesis, aunque en trabajos posteriores aclaró que su crítica más que a la teoría sintética en general, era al “ultradarwinismo” (Ruiz G. y Ayala, 2002:181); finalmente en su última presentación de la teoría<sup>14</sup> la describe como una ampliación importante de la síntesis moderna; con su propio sistema para integrar los compromisos clásicos y críticas contemporáneas (Gould, 2004), como se verá más adelante.

---

<sup>14</sup> Gould S. J. (2002) The structure of evolutionary theory.

## ¿Qué es el equilibrio puntuado?

En este trabajo se sigue a Gould (2004), por lo tanto se considera que la teoría del equilibrio puntuado es aquella que aborda el origen y despliegue de las especies en el tiempo geológico, y que no es una teoría sobre todas las formas de rapidez, a cualquier escala o nivel en biología.

Como proposición central, el equilibrio puntuado sostiene que la gran mayoría de especies, como evidencian sus historias anatómicas y geográficas en el registro fósil, surgen en momentos geológicos (puntuaciones) y luego persisten en estasis durante toda su vida geológica (Gould, 2004:79).

Una consecuencia de esta pauta resulta en que las especies pueden ser consideradas como individuos darwinianos legítimos, ya que cumplen todos los criterios para funcionar como tales en el dominio de la macroevolución. Los elementos que debe tener un individuo para considerarse como tal son tres: tener un comienzo discreto y definible (un nacimiento), un final discreto y definible (una muerte), y una estabilidad suficiente (coherencia de sustancia y constancia de forma) para ser reconocible continuamente durante toda su existencia como la misma “cosa” (Gould, 2004).

En la estabilidad suficiente se incluyen al menos cuatro propiedades importantes: cambio, discreción y cohesión, continuidad, y funcionalidad y organización. Un individuo debe tener mantener fronteras claras y coherentes durante toda su vida. Los criterios de individualidad darwiniana requieren de más atributos:

1. La base genealógica de la evolución como un árbol ramificado
2. La eficacia causal de la evolución como proceso gobernador del cambio evolutivo
3. Reproducción
4. Herencia

5. Variación entre los individuos
6. Interacción (Gould, 2004:632 y sigs.)

La longevidad geológica se mide primariamente en millones de años, los valores medios varían ampliamente entre grupos y épocas, correspondiendo los menores a los vertebrados terrestres, y los mayores a los invertebrados marinos. Sepkoski, 1997 (en Gould, 2004) da una estimación de 4 millones de años para la duración media de las especies fósiles.

Los propósitos centrales del equilibrio puntuado, señala Gould (2004), encarnan tres conceptos que requieren significados operativos definidos: estasis (que no significa invariancia temporal), puntuación y frecuencia relativa dominante. La “tesis fuerte” del planteamiento es que en la mayoría de los casos no se acumula ningún cambio efectivo a lo largo de la vida geológica de una especie, se admite que los valores medios fluctuarán a lo largo del tiempo, por lo que esta fluctuación también implica que la población final no será idéntica a la inicial.

Para poner a la estasis en términos operativos se puede decir;

a. Que las muestras finales no diferirán estadísticamente de las formas iniciales.

b. Que las muestras finales no se saldrán del rango de variación observado durante la historia anterior de la especie (si lo hace, cabe pensar que ha habido anagénesis).

En cuanto a la magnitud de fluctuación permisible, lo ideal sería poder estudiar la extensión de la variación geográfica entre poblaciones contemporáneas de la especie o su pariente vivo más cercano (Gould, 2004).



Stanley y Yang (1987) estudiaron una fauna entera de especies de moluscos y produjeron la documentación más elegante que se tiene sobre estasis; Stanley menciona que su interés en el modelo puntuado fue estimulado por las aseveraciones de antiguos investigadores que pensaron que el testimonio del registro fósil era ambiguo, como creía que el estudio de los datos fósiles podían resolver el asunto, propuso análisis formales que resultaron favorables al modelo puntuado (Stanley, 2005).

Por su lado, Eldredge, et al. (2005:133) recientemente han señalado que la acentuada estabilidad morfológica que se encuentran en muchas especies fósiles, contrasta claramente con los rápidos cambios evolutivos frecuentemente adaptativos documentados en muchas especies vivas. Sin embargo, los avances en la comprensión de los registros fósiles, la genética de poblaciones y la ecología evolutiva señalan la compleja estructura geográfica de las especies como elemento fundamental para la resolución de cómo los taxones comúnmente pueden presentar tanto la dinámica evolutiva a corto plazo, como la estasis a largo plazo. Investigaciones en las últimas décadas han sugerido que en el caso de especies que habitan ambientes heterogéneos, se presenta un complejo patrón de selección, que aunado a la coevolución pueden mantener estasis en la especie, sobre largos periodos de tiempo. Ni la carencia de variación genética, ni de constricciones génicas y del desarrollo, puedan explicar por si solas, la estasis de toda la especie (Eldredge, et al. 2005:142-143).

Para Gould la estasis es un dato, pero la puntuación representa una transición. Por este hecho, es importante formular apropiadamente lo que es la rapidez. Como los límites de resolución estratigráfica varían ampliamente; un plano de sedimentación puede representar desde unos pocos años, o incluso estaciones del año en casos raros de estratificación repetitiva, hasta muchos miles de años en la mayoría de las circunstancias. No es posible, por lo tanto, formular una definición que equipare la puntuación a una “simultaneidad de

planos de sedimentación”. Más bien, las puntuaciones deben definirse en relación a la duración de la estasis subsiguiente. Se puede comparar la especiación con la gestación de un organismo, en el caso de nosotros, la gestación del ser humano representa del uno al dos por ciento de la duración de su vida; para una longevidad específica media de  $4 \times 10^6$  años, un uno por ciento sería 40,000 años de margen para la especiación. Las puntuaciones del equilibrio puntuado no representan saltaciones sino eventos de especiación ordinarios a la escala geológica apropiada (Gould, 2004).

La puntuación puede ser más difícil de documentar, pero se ha notificado muchos casos y se han desarrollado varios métodos para su comprobación rigurosa. Por ejemplo, se puede estudiar una puntuación por contraste con procesos de cambio gradual dentro de la misma secuencia estratigráfica, o buscar explícitamente las raras series estratigráficas en las que la sedimentación ha sido lo bastante rápida y continua para expandir en una secuencia vertical de estratos lo que habitualmente está comprimido en un solo plano de sedimentación, o diseccionar una puntuación haciendo dataciones absolutas de los especímenes individuales procedentes de un mismo plano de sedimentación (*Ibidem.*, 800-801).

El tercer asunto clave es la frecuencia relativa, puesto que el equilibrio puntuado no solo afirma la existencia de un fenómeno, sino una pauta dominante; ésta puede ser la más fácil desde el punto de vista operativo (puesto que uno solo tendría tabular casos favorables y desfavorables en faunas bien documentadas), pero es difícil de definir.

Para confirmar la existencia del equilibrio puntuado como fenómeno, se han hecho estudios durante dos décadas al menos, que aportaron una copiosa y convincente documentación (que se recoge en Gould, 2004:852- 903) pero el éxito de los casos no puede validar la teoría. Las especies son

irreductiblemente únicas, y el conjunto no exhibe una distribución consistente con los requerimientos de los procedimientos estadísticos habituales; importa sobremanera si se estudia un bivalvo o un mamífero, un taxón cámbrico o uno terciario, una especie tropical o ártica. El equilibrio puntuado se hace operativo cuando puede ofrecer definiciones factibles para ideas y expectativas clave, en este caso estasis, puntuación y frecuencia relativa.

Por otra parte, el problema de las especies constituía la mayor parte de las discusiones en paleontología, ya que un auténtico continuo no puede dividirse sin dudas, en segmentos discretos (Véase por ejemplo, Sour y Montellano, 2008). Como el equilibrio puntuado dice que la vasta mayoría de especies se origina por escisión, y que el tiempo estándar de la especiación se expresa a escala geológica, como un origen instantáneo seguido por una larga persistencia en estasis; entonces las especies se hacen definibles porque surgen por especiación (por escisión o aislamiento geográfico de una población hija seguida de diferenciación genética de la población ancestral) y no por anagénesis. Cualquier especie nueva tiene que haber pasado por un corto periodo de ambigüedad durante su diferenciación inicial de una especie ancestral, pero a escala macroevolutiva, es un periodo fugaz. (Gould, 2004: 806-807).

Los gradualistas no negaban que la especiación por ramificación sea un proceso frecuente, simplemente no le concedían ningún papel formativo en la acumulación del cambio macroevolutivo por tres razones:

1a. Concebían la especiación solo como generador de diversidad, no como agente modificador de la forma promedio de un clado (el fenómeno macroevolutivo clave de las tendencias).

2da. Concedían poco peso cuantitativo al papel de la especiación (por escisión) en la totalidad del cambio evolutivo, Simpson en 1944 afirmó que la especiación representaba alrededor del 10% del cambio evolutivo, y la anagénesis el 90%.

3a. No veían diferencia entre especiación y anagénesis, alguna contingencia histórica, argumentaban, escinde una población en dos unidades separadas y cada una sigue su propio camino anagenético (*Ibídem.*, 807-808). En este sentido, la teoría del equilibrio puntuado no añade ningún modo o mecanismo de especiación, sólo retoma un modelo microevolutivo estándar.

Si la mayoría de las especies surgen por alopatría, entonces, las especies hijas se originan en tres circunstancias que aseguran una expresión puntual en el registro

- a. su aparición es rápida, incluso instantánea, a escala geológica,
- b. se originan en regiones geográficas periféricas pequeñas
- c. situadas más allá de los límites del dominio de distribución parental (*Ibídem.*, 810).

La irrupción súbita de una especie en el registro, puede deberse a una posterior migración. Respecto a otros mecanismos de especiación “El equilibrio puntuado simplemente requiere que cualquier mecanismo de especiación propuesto sea lo bastante rápido y local para aparecer como una puntuación a escala geológica” (*Ibídem.*, 810).

Recapitulando, los principales postulados de la teoría propuesta por Eldredge y Gould pueden señalarse así: la mayor parte del cambio evolutivo se concentra en la especiación en pequeñas poblaciones aisladas periféricamente, aunque otros tipos de especiación parecen concordar también con la teoría. Las especies se tratan como individuos en el tiempo y en el espacio, por lo que existen individuos darwinianos legítimos en varios niveles de una jerarquía que va desde genes, organismos, poblaciones, especies y clados. La cladogénesis, esto es la especiación por ramificación, sería responsable de generar la mayoría de la diversidad de especies presentes hasta el momento, mientras que la anagénesis tiene una presencia menor en

la evolución. Las tendencias evolutivas son el resultado del éxito diferencial entre especies, puesto que ellas tienen diversa tasa de surgimiento y de extinción.

La evolución sería un proceso jerárquico con modos de cambio complementarios, aunque diferentes entre los niveles. El mundo orgánico está constituido como en una serie de niveles ascendentes, cada uno de ellos se une al que se encuentra abajo en algunas formas, pero es independiente en otras. Los procesos básicos de mutación, selección y deriva, pueden entrar en cualquier nivel, pero trabajan distinto con los materiales característicos de cada uno, en los niveles superiores existen características nuevas que no se derivan únicamente de los niveles inferiores.

La visión jerárquica de la evolución generaliza la teoría de la selección natural a unidades evolutivas distintas del organismo: la selección de linajes celulares, la clásica selección organísmica, la selección de grupos o demes, de especies e incluso de clados (Gould, 2004: 674). Esta visión jerárquica tiene un alcance causal y también fenomenológico; no trata de reemplazar sino de extender la teoría de Darwin. Aquí, la evolución es el resultado de la interacción simultánea de distintos niveles que pueden coincidir pero también entrar en conflicto (Gould, 2004).

La consideración de cada individuo en la jerarquía es relativa, siempre debemos de considerar el nivel de análisis que estamos realizando. Esto lo explica Gould en *La estructura de la teoría de la evolución* de la siguiente forma:

La teoría jerárquica de la selección reconoce muchas clases de individuos evolutivos, ordenados en una serie de inclusión creciente (genes en células, células en organismos, organismos en demes, demes en especies, especies en clados). La unidad focal de cada nivel es un

individuo, y podemos dirigir nuestra atención a cualquiera de estos niveles. Una vez designamos un nivel focal como primario para un estudio concreto, entonces la unidad a ese nivel (el gen, el organismo, la especie, etcétera) se convierte en nuestro individuo focal o relevante, y sus unidades constituyentes se convierten en partes mientras que el nivel superior se convierte en colectividad (*Ibídem.*).

Así, si nos centramos en el nivel orgánico convencional, genes y células se convierten en colectividades. Pero si nuestro estudio requiere considerar a las especies como individuos, entonces los organismos se convierten en partes y los clados en colectividades. En otras palabras, la tríada parte-individuo-colectividad se desplazará, como un todo, arriba y debajo de la jerarquía en función de los sujetos y objetos de cualquier estudio particular (Gould 2004:705).

### **Críticas al equilibrio puntuado**

Se han hecho bastantes críticas a la teoría del equilibrio puntuado, entre ellas que tal vez la selección entre especies no exista, que la estasis apreciada en el registro fósil sea efecto de la selección natural estabilizadora y cohesión del genotipo, que el origen saltacional de las especies en el tiempo geológico, puede ser del todo gradual en el tiempo ecológico, que las especies fósiles no son verdaderas especies biológicas, entre otras (Olea Franco, 1986).

El gradualismo es el modelo macroevolucionista ortodoxo, explica la macroevolución como el producto de una transformación lenta, de la acumulación de muchos pequeños cambios en el transcurso del tiempo. Para Eldredge y Gould la macroevolución no solo es microevolución a largo plazo, si se asume que la macroevolución es el proceso responsable del surgimiento de los taxones de rango superior, entonces da cuenta de la emergencia de

discontinuidades morfológicas importantes entre las especies, razón por la cual se les ha clasificado como grupos marcadamente diferenciados (Freeman y Herron, 2002).

El debate que suscitó la teoría del equilibrio puntuado fue tremendamente productivo, orilló a los paleontólogos a investigar cuidadosamente los límites de resolución estratigráfica, y los patrones de evolución morfológica en los linajes fósiles; y hasta incrementó el uso de modelos estadísticos de evolución que hoy pueden permitir una mejor resolución de cuestiones evolutivas pendientes (Hunt, 2007:18407).

Para Benton y Pearson (2001: 405) los trabajos recientes en paleontología muestran que algunas partes del registro fósil se pueden considerar bastante completas y bien documentadas, por lo que se puede estudiar en detalle la división de linajes (especiación). Ellos señalan que el plancton marino parece presentar una especiación gradual con su subsecuente diferenciación morfológica de linajes (tomando aproximadamente 500,000 años), mientras que los invertebrados marinos y vertebrados presentan un patrón puntuado (con períodos de rápida especiación seguidos por prolongadas estasis).

Gene Hunt (2007:18404) realizó un estudio estadístico de gran escala, en el que investigó 250 secuencias evolutivas de caracteres usando tres modelos evolutivos: cambio direccional, paseo al azar (*random walk*) y estasis, encontrando que la evolución en esos caracteres raramente fue direccional (5%), mientras que las restantes 95% de las secuencias, se dividieron casi por igual entre el modelo al azar y la estasis. Este estudio corrobora la afirmación de la teoría del equilibrio puntuado respecto a la baja frecuencia de una evolución direccional y quizá la corta duración de los eventos que raramente se registrarán en muestras paleontológicas; como se mencionó hay alguna evidencia de que el cambio direccional en organismos planctónicos es más frecuente que en bentónicos.

Los estudios paleobiológicos que se han efectuado acerca de los pasados 40 millones de años (Neogeno) muestran con algún detalle, que “la especiación de plantas terrestres y animales pueden ocurrir generalmente después de una separación geográfica de una manera rápida y siguiendo un patrón puntuado”.<sup>15</sup> En otros casos la especiación puede ser simpátrica, ya sea que tome mucho tiempo, como las formas marinas ampliamente distribuidas (el plancton que toma 100,000 años o más) o que sea muy rápida como en la especiación de los peces de lagos (Benton, 2003).

En resumen, después de décadas de debates respecto al equilibrio puntuado, un consenso general acerca del mecanismo de especiación es que necesitamos una multiplicidad de procesos de modos y orígenes de nuevas especies (puntuados en algunas circunstancias ecológicas y gradual en otras), una multiplicidad de posibles velocidades de especiación y una multiplicidad de niveles de cambio a ser considerados (desde un punto de vista ecológico y genealógico). Así que la principal postura metodológica hoy es un cálculo de las frecuencias relativas de un patrón (interruccionismo) con respecto a otro (el gradualismo y tendencias), y no una alternativa radical entre dos modelos incompatibles (Pievani, 2012: 216).

Se puede establecer un balance entre quiebres y continuidades de la teoría sintética y el equilibrio puntuado,

Quiebres:

1. Las discontinuidades en el registro fósil no se deben a imperfecciones del mismo.
2. La especiación no solo es anagenética, frecuentemente es cladogenética.
3. La especiación está conectada con episodios mayores de cambio evolutivo, hay una amplia difusión de estasis aparente en las historias naturales.

---

<sup>15</sup> “Speciation in terrestrial plants and animals may generally occur after geographic separation, and relatively rapidly, following a punctuated pattern”.



La continuidad está en:

1. El mecanismo evolutivo durante la especiación es darwiniano,
2. el patrón de gradualismo no está excluido, y
3. sobre todo, puntuación y la estasis se sitúan en el nivel de la escala geológica de vida de las especies, de manera que no chocan con los mecanismos normales de cambio a nivel de las poblaciones de organismos (Pievani, 2012: 216).

Un caso muy diferente en donde no se puede argumentar continuidad, es el desafío planteado por el descubrimiento del papel crucial de los patrones de macroevolución en la evolución –como pulsos de cambios de especies, radiaciones adaptativas rápidas, y las extinciones en masa–, porque rompe la fuerte suposición metodológica de la acumulación uniforme de procesos macroevolutivos. (Pievani, 2012: 216-217).

## **REGISTRO FÓSIL, GRADUALISMO Y ESTASIS**

Las preguntas del cuestionario argumentativo, se elaboraron en relación con la proposición central y las afirmaciones primarias de la teoría del equilibrio puntuado *sensu* Gould (2004), que además toca puntos esenciales del mismo darwinismo. Como se ha mencionado la proposición central "...sostiene que la gran mayoría de especies, como evidencian sus historias anatómicas y geográficas en el registro fósil, surgen en momentos geológicos (puntuaciones) y luego persisten en estasis durante toda su vida geológica" (Gould S, 2004: 797). De aquí que en la presente indagación, la primera pregunta del cuestionario se formuló explorando la forma en que los alumnos se expresan sobre el registro fósil, mientras que la segunda y tercera sobre el proceso de la estasis (Ver Apéndice 5).

### **Respecto al Registro Fósil**

El registro fósil –como ya se mencionó- ha sido estudiado e interpretado de maneras distintas; desde que es una demostración de la generación espontánea, o las pruebas de un "diluvio universal", hasta considerarlo como una prueba de la imperfección de los procesos de fosilización en la evolución (Eldredge y Gould 1972:82, Ruiz y Ayala, 2002:214). Tan importante fue el tópico para Darwin que decidió dedicarle los capítulos de "De la imperfección de los datos geológicos" y "De la sucesión geológica de los seres vivos" en su magna obra *El Origen de las Especies*.

Gould (2004: 780) menciona en el apartado intitulado "Lo que todo paleontólogo sabe" que el hecho cardinal y dominante del registro fósil es que la gran mayoría de especies aparece abruptamente en el registro fósil y luego persiste en estasis hasta su extinción. Aún más, transcribe una declaración hecha por Simpson en la

celebración del centenario de la publicación del *Origen de las especies*, realizada en 1959 en Chicago (en Tax, 1960:149)<sup>16</sup> que es la que continúa:

Que la mayoría de taxones aparece abruptamente es una característica conocida del registro fósil. No se llega a ellos a través de una secuencia casi imperceptible cambiante de precursores, tal como Darwin creía que debería ser la regla en evolución. Se conoce un gran número de secuencias de dos o unas pocas especies que se intergradan en el tiempo, pero incluso a este nivel, la mayoría de especies aparece sin ancestros intermedios conocidos, y las secuencias completas de numerosas especies son extremadamente raras, [...] Estas peculiaridades del registro fósil plantean uno de los problemas teóricos más interesantes en la historia entera de la vida: ¿es la aparición súbita [...] un fenómeno evolutivo o sólo se debe al sesgo muestral y otras imperfecciones del registro fósil? ”

Este problema teórico ha ocupado a los científicos desde hace bastante tiempo, entre ellos a Darwin, Cuvier y Lyell. Tanto para Cuvier como para Lyell, una cuestión primaria era cómo debería tratar la ciencia los datos empíricos del registro geológico, y la principal diferencia entre ellos fue el literalismo de Cuvier frente a la posición de Lyell de mirar detrás de las apariencias de un registro sistemáticamente imperfecto Gould (2004: 520).

Cuvier como el más eminente catastrofista<sup>17</sup> (Castrodeza, 2010:150), predicó un literalismo empírico radical, es decir afirmaba que lo que se ve, debe interpretarse como un registro fiel de los eventos reales, sin interpolaciones de ninguna clase. Los catastrofistas fueron los empiristas radicales de su tiempo, muy al contrario, fueron Lyell y Darwin quienes se opusieron a la lectura literal del registro geológico y se pusieron a “interpretar”, y no simplemente a registrar los datos observacionales.

---

<sup>15</sup> Cita del libro *Evolution after Darwin*, editado por S. Tax en 1960.

<sup>17</sup> La teoría catastrofista postulaba que el cambio geológico a gran escala se concentraba en episodios infrecuentes de paroxismo global, esta secuencia de catástrofes impartía una historia direccional al planeta y a la vida que contiene.

Para estos autores, el registro geológico debe considerarse imperfecto en grado sumo.

En el *Discours*<sup>18</sup> Cuvier expone todos los rasgos característicos del catastrofismo como ciencia; sustancialmente demostró la direccionalidad temporal de la vida, e ilustró el valor de este vector en la inferencia de la historia geológica y el orden estratigráfico. Demostró que las especies podían extinguirse, y su principal fuente de evidencia consistió en la anatomía de algunos fósiles cuadrúpedos que no podían encuadrarse dentro de los límites de variación de las especies modernas. A su vez, trazó una secuencia estratigráfica de similitud creciente entre las faunas antiguas y modernas con la mocedad de los niveles, documentando una pauta direccional (Gould, 2004:515; Templado, 1974:49).

Aunque Cuvier consideraba que las catástrofes eran el agente primario del cambio geológico debido a que la eficacia de las causas actuales es insuficiente para explicar los episodios catastróficos; considera una alternativa potencial a la hipótesis de las extinciones en masa, la evolución. Entonces señala que puede ser que las formas nunca perecieran sino que se transformaran gradualmente en las especies que vemos hoy; pero él mismo replica con un argumento empírico difícil de contradecir si el registro fósil se interpreta de forma literal. Esto se advierte en el siguiente fragmento del *Discours*:

Esta objeción puede parecer fuerte para quienes creen en una posibilidad indefinida de cambio de las formas vivas en cuerpos organizados, y piensan que durante una sucesión de edades, y por alteración de hábitos, todas las especies pueden transformarse unas en otras, o que una pueda dar origen al resto. A estas personas se les puede responder de la siguiente manera desde su propio sistema: si las especies han cambiado por gradación, como ellos asumen, entonces deberíamos encontrar trazas de modificación gradual. En consecuencia, deberíamos haber sido capaces de descubrir algunas formas

---

<sup>18</sup> El libro se titula *Discours sur les révolutions de la surface du globe et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal* publicado en 1822

intermedias entre el Palaeotherium y las especies de nuestros días; y,... sin embargo, nunca se ha hecho tal descubrimiento. Puesto que las entrañas de la Tierra no han preservado monumentos de esta extraña genealogía, tenemos derecho a concluir que las especies antiguas ahora extintas fueron tan permanentes en sus formas y caracteres como las existentes; o, al menos, que la catástrofe que las destruyó no dejó tiempo suficiente para la producción de los cambios alegados” (1818, pág.119) (Gould, 2004:520).

Darwin, no alegó en contra de la descripción de Cuvier, pero en cambio afirmó que la no preservación de las gradaciones intermedias se debía a la abrumadora imperfección del registro fósil, y admitió que su sistema entero dependía de la validez de esta suposición y expresó su deuda con Lyell. Actualmente reconocemos la inmensidad del tiempo geológico, pero también se descarta el argumento de Cuvier de que la ausencia de fósiles intermediarios excluye la evolución. He aquí la cita de Darwin: “La geología, ciertamente, no revela la existencia de tal serie orgánica delicadamente gradual, y es ésta, quizá, la objeción más grave y clara que puede presentarse en contra de mi teoría. La explicación está, a mi parecer, en la extrema imperfección de los datos geológicos” (*El Origen*, 1981[1872]:324).

Ciertamente el registro fósil, más que sustentar la teoría darwiniana parecía obstaculizarla, el mismo título “De la imperfección de los datos geológicos” que lleva uno de los capítulos de *El origen de las especies*, indica la posición del autor al respecto. Más aún, señala que es mucho más difícil comprender por qué en una formación, no se encuentran series graduales de variedades entre las especies afines, es decir, comúnmente cada formación no comprende una serie gradual de eslabones (Darwin, 1981 [1872]:339). Las razones que se exponen en este capítulo para no encontrar las gradaciones son las siguientes:

**Tiempo insuficiente.** El tiempo transcurrido, ya que no debe haber sido suficiente para un cambio orgánico tan grande, si todas las variaciones se han efectuado lentamente. La lentitud es consecuencia de que en la economía de la naturaleza, no se presentan, sino en largos intervalos, nuevos puestos, debido a cambios físicos o la inmigración de formas nuevas (Darwin, 1981 [1872]:333). “Si bien cada formación exige un lapso de años grandísimo, probablemente es corto comparado con el período requerido para que una especie se transforme en otra” (Darwin, 1981[1872]:339). Aunque también hay que considerar que los tiempos en que se presentan las condiciones mejores para la preservación de fósiles, serán menores en comparación a los que no lo son (Darwin, 1981[1872]:339).

**Emigración.** “Cuando vemos en la formación una especie por primera ocasión, probablemente emigró entonces a aquél territorio” (Darwin, 1981[1872]:340).

**Pobreza de las colecciones paleontológicas.** “Tan sólo una pequeña parte de la superficie de la tierra ha sido explorada geológicamente, y ninguna con el cuidado suficiente” (Darwin, 1981[1872]:333).

“De continuo olvidamos lo grande que es el mundo comparado con la extensión en que han sido cuidadosamente examinadas las formaciones geológicas. No nos hacemos el cargo debido del tiempo transcurrido entre formaciones sucesivas” (Darwin, 1981[1872]:345).

**Sedimentación discontinua, insuficiente y no ocupar la misma región.**

Para que se logre una gradación perfecta entre dos formas, una de la parte superior y otra de la inferior de la misma formación, el depósito tiene que haberse ido acumulando de manera continua durante un largo período: por consiguiente, el depósito tiene que ser muy grueso y la especie que experimenta el cambio ha de haber vivido durante todo el tiempo en la misma región (Darwin, 1981[1872]:340-341).

**Sedimentación intermitente.** “Se diría que cada formación aislada, lo mismo que la serie entera de formaciones de un país, ha sido, por lo general, intermitente en su acumulación” (Darwin, 1981[1872]:341).

**Forma arbitraria de discriminar variedades y especies.** “También hay que señalar que los naturalistas no tienen un criterio uniforme, sino bastante arbitrario para discriminar especies de variedades” (Darwin, 1981[1872]:342).

**Período corto de las modificaciones comparado con el que no se presentan.** Una consideración más importante, es el período durante el cual una especie experimentó modificaciones, aunque largo, si se mide por años, fue probablemente corto en comparación con el período en el que permaneció sin experimentar cambio alguno. Esto también disminuiría mucho las probabilidades de poder seguir las fases de transición en una formación geológica (Darwin, 1981[1872]:344).

He ahí sus explicaciones, finalmente citaremos la famosa metáfora que popularizó:

Por mi parte, siguiendo la metáfora de Lyell, considero los informes geológicos como una historia del mundo imperfectamente conservada y escrita en un dialecto que cambia; y de esta historia solo poseemos el último volumen, referente nada más a dos o tres países. De este volumen sólo se ha conservado aquí y allá un breve capítulo, y de cada página, sólo unas pocas líneas salteadas. Cada palabra de este lenguaje, que lentamente varía, es más o menos diferente en los capítulos sucesivos y puede representar las formas orgánicas que están sepultadas en las formaciones consecutivas y que erróneamente parece que han sido introducidas de repente (Darwin, 1981[1872]:354).

La interpretación del registro fósil por los proponentes de la teoría sintética se apega en mucho a lo que nos relata Darwin, brevemente revisaremos a los principales autores. Por ejemplo Dobzhansky reconoce la existencia de “discontinuidades” entre grupos en el registro fósil e intenta explicarlas mediante la dinámica de la evolución y no como consecuencia de la fosilización, como se advierte en el siguiente segmento:

El registro fósil indica que el *tempo* (ritmo) de la evolución dentro de una línea filética no es uniforme en el tiempo: los períodos de una proliferación explosiva de nuevas formas son seguidos por un desarrollo más gradual...los principales avances evolutivos parece que tienen lugar de repente, con pocos o ningún caso intermedio entre los nuevos grupos y sus antecesores supuestos preservados como fósiles...La transición desde un pico adaptativo a otro bastante remoto en el campo de las combinaciones genéticas comporta una reconstrucción radical del genotipo...En general, si la reconstrucción es más radical, menos probables son los estadios intermedios del proceso de reconstrucción para representar sistemas genotípicos armonioso...Al igual que los tamaños efectivos de las poblaciones, en las especies que son raras o confinadas a tipos de hábitat estrictamente circunscritos, tienen que ser probablemente más pequeños que en las especies más comunes y extendidas, las tasas de evolución pueden ser mayores en promedio en el primer caso que en el segundo (Dobzhansky, 1941:343 en Eldredge, 1997: 55-56).

Este relato señala que los eslabones entre dos tipos de organización distintas, serán organismos capaces de vivir solo en ambientes especiales, por lo tanto son escasos y difíciles de fosilizar, lo que explicaría las discontinuidades en el registro.

Por su lado, Simpson (*Tempo and mode in evolution*, 1944) sostiene una manera muy interesante de considerar los datos paleontológicos, pues afirma que entre los que dicen que el registro debe ser tomado literalmente, y los que denuncian la



imperfección en él, la verdad está en un lugar intermedio. Especialmente, sostiene que las discontinuidades entre taxones de rango relativamente bajo son casi siempre el resultado de un registro desaparecido. Pero las discontinuidades entre taxones de rango más alto no son discontinuidades artificiales del registro fósil; son fenómenos reales que requieren explicación especial.

El párrafo siguiente es bastante ilustrativo y parece representar lo que afirma la posición gradualista.

Hasta aquí hemos hablado sólo de la delimitación de las especies contemporáneas (sincronía). La delimitación de especies que no pertenecen al mismo espacio de tiempo (especies alocrónicas) es difícil. De hecho, sería completamente imposible si el registro fuera completo. Las especies de cada período son los descendientes de las especies del período anterior, y los antecesores de los del período siguiente. El cambio es suave y gradual, y no se debe, al menos teóricamente, permitir la delimitación de especies definidas. En la práctica, el registro fósil es fragmentario, y las discontinuidades en nuestro conocimiento hacen también convenientes las discontinuidades entre las “especies” (Mayr, 1942:153, en Eldredge, 1997: 68).

La mirada paleontológica de la especiación ha sido dominada por la representación del “gradualismo filético” que sostiene que las nuevas especies se originan de una transformación lenta y constante de poblaciones enteras, pero para otros autores, la historia de la vida está mejor representada por “el equilibrio puntuado”, que por el gradualismo filético (Eldredge y Gould, 1972:84).

La interpretación sostenida por Eldredge y Gould es que la especiación alopátrica en poblaciones pequeñas y periféricas *automáticamente* resulta en “brechas” en el registro fósil; por lo que proponen que:

1. Las nuevas especies se originan por división de linajes.

2. Las nuevas especies se desarrollan rápidamente.
3. Una pequeña subpoblación de la forma ancestral da origen a la nueva especie.
4. Las nuevas especies se originan en una parte muy pequeña de la distribución geográfica de la especie, en un área aislada de la periferia del rango.

Para el equilibrio puntuado, las formas transicionales, raramente serán descubiertas por el registro fósil ya que la especiación ocurre rápidamente en pequeñas poblaciones que ocupan áreas discretas. Se sostiene que el registro fósil está mejor de lo que comúnmente se cree y que los intervalos encontrados pueden ser reales (Eldredge y Gould, 1972:96).

¿Cómo justifican los sintetistas contemporáneos estos intervalos o brechas en el registro fósil? Siguiendo a Freeman y Herron<sup>19</sup> se asume que éste tiene sesgos que son de tres tipos principales: geográficos, taxonómicos y temporales. En primer lugar se señala una propensión de los fósiles a proceder de tierras bajas y hábitats marinos, sustentada en que los animales oceánicos dominan el registro fósil, mientras que dos tercios de los phyla animales actuales carecen de cualquier tipo de partes duras que sean fáciles de fosilizar (2002: 509-510).

En segundo lugar, afirman que el sesgo temporal se presenta como consecuencia de que la corteza terrestre está continuamente reciclándose, las rocas viejas son más raras que las nuevas, ya que las placas tectónicas se subducen, las montañas se erosionan y los fósiles se pierden (Freeman y Herron, 2002:510). Los autores recuerdan que el registro fósil, como cualquier otro tipo de datos, tiene debilidades y fortalezas que delimitan la recuperación de la información y la generalización de las interpretaciones. En resumen, señalan que las investigaciones

---

<sup>19</sup> Autores de la obra *Análisis evolutivo* publicada en el 2002 en Madrid por Prentice-Hall, y que es empleada como libro de texto en los cursos de la asignatura de "Evolución" en varias universidades.

sobre el registro fósil tienen limitaciones y sesgos de varios tipos, entre los que se encuentran las dificultades de fosilización y las pérdidas de material fósil.

### **Sobre el gradualismo**

Como se indica en párrafos anteriores, la perspectiva dominante sobre la especiación en paleontología ha sido el gradualismo, cuyo abordaje requiere regresar sobre la historia, para entender mejor su papel en el proceso evolutivo.

Pues bien, para que la teoría propuesta por Darwin se mantuviera, era necesario que se presentaran las condiciones geológicas y ambientales que precisó. Él establece que la evolución es un proceso principalmente uniforme y lento, en el que la competencia biótica es la que predomina en la selección natural, en un ambiente geológico determinado, así afirma: “Como la selección natural actúa solamente a través de la acumulación de sucesivas y ligeras modificaciones favorables, no puede producir modificaciones grandes o súbitas; sólo puede actuar a través de pasos muy cortos y lentos” (1859: 471, en Mayr, 2006: 138).

La selección natural se ve potenciada por la competencia biótica, con una condición ecológica de plenitud, ya que todos los territorios están plenamente habitados, por lo que se presenta preponderantemente este tipo de competencia. En ella, cada nueva forma extermina a su forma madre no tan perfeccionada, lo que explica el progreso en el curso de la vida (Gould 2004: 500-2), como lo señala Darwin en un famoso pasaje de *El Origen*:

Los habitantes del mundo en cada periodo sucesivo de la historia han vencido a sus predecesores en la carrera por la vida, y en ese sentido son superiores en la escala de la naturaleza; esto puede explicar el vago e indefinido sentimiento, que embarga a tantos paleontólogos, de que la organización en su conjunto ha progresado (págs.379-80).

Una metáfora llamativa de Darwin para la competencia biótica, imagina una superficie densamente incrustada de cuñas, que representa la naturaleza repleta en toda su capacidad;

La cara de la naturaleza puede compararse a una superficie blanda, con diez mil cuñas afiladas, incrustadas por un golpeteo incesante: ahora una cuña recibe un golpe, y luego otra con mayor fuerza (Darwin 1859: 679) (Gould, 2004: 502, Stanley, 2005: 255).

En este panorama, el golpeteo va clavando las cuñas, y una cuña puede desalojar a sus vecinas, por lo que se produce una extinción. La extinción, desde esta perspectiva es gradual, y será la norma en la historia de los clados (Gould 2004: 504). Se insiste en la predominancia de la competencia biótica, sobre la abiótica, y esto constituye un eslabón crucial en una cadena argumental que inicia en la creencia de la plenitud de la naturaleza y termina con la justificación del progreso y la necesidad de un panorama geológico uniformista (Gould 2004: 500).

En el panorama geológico el cambio medioambiental no debe ser ni demasiado pequeño, ni demasiado grande. Si es muy pequeño el impulso externo no será suficiente, pero si es muy grande, el impulso externo y no la competencia biótica, será determinante. Esta proporción "aurea" de cambio geológico, proviene de la premisa extrapolacionista de que la selección natural a pequeña escala puede proporcionar la base causal de la transformación morfológica en tiempo geológico (Gould 2004: 509).

Y en esta misma línea, Darwin hace una afirmación sumamente temeraria, que la gradualidad, continuidad, y ubicuidad de la competencia biótica nos podría permitir usar el cambio morfológico como medida del tiempo transcurrido:

Como las especies se originan y se extinguen por causas que obran lentamente y siguen actuando, y no por actos milagrosos de creación, y como

la más importante de todas las causas de modificación orgánica es caso independiente del cambio, a veces incluso del cambio brusco, en las condiciones físicas –a saber, la relación mutua de organismo a organismo, de manera que el perfeccionamiento de un organismo ocasiona el perfeccionamiento o exterminio de otro –, resulta que la magnitud de las modificaciones orgánicas en los fósiles de formaciones consecutivas sirve, probablemente, como una buena medida del tiempo transcurrido (págs.487-488).

Inmediatamente Darwin se retracta diciendo que en ocasiones esto no se cumpliría y que no debemos exagerar la exactitud de la variación orgánica como medida del tiempo (Gould 2004: 507). Pero, la transformación lenta y uniforme del cambio geológico es un compromiso central de Darwin, debido a que la selección natural no puede generar el patrón macroevolutivo sin este soporte. Aún más, Gould (2004: 174-5) refiere que todos los estudiosos han hecho notar la centralidad del gradualismo tanto en la ontogenia como en la lógica (Mayr, 1991) del pensamiento de Darwin, y que ella se integra en su ideario, antes que la selección natural, y cubre temas más amplios.

Lyell aportó una evidencia amplia y convincente a favor del uniformismo, y es innegable que el cambio gradual no deja de tener una frecuencia relativa importante entre las pautas de cambio geológico. Una de las “uniformidades” que ejerció una gran influencia en Darwin fue el gradualismo, o la uniformidad del cambio; particularmente la producción de fenómenos a gran escala por acumulación de efectos cotidianos ordinarios a lo largo de vastos períodos de tiempo (Gould, 2004: 510, Stanley, 2005: 255).

Las preocupaciones de Darwin con el tiempo geológico fueron acentuadas por Lord Kelvin, debido a que éste estimó la edad de la Tierra en 100 millones de años, lo que Darwin consideraba poco tiempo para el proceso evolutivo; ya que para él

antes del Cámbrico (Silúrico temprano en su terminología) debía haber transcurrido más tiempo para que la vida, a partir de moléculas, evolucionara hasta trilobites, al menos. Sin embargo sólo podemos apreciar la magnitud del desacuerdo de Darwin cuando consideramos que la convicción sobre el carácter generalmente lento y uniforme del cambio geológico, es uno de los compromisos centrales de la teoría darwiniana (Gould, 2004: 525 y siguientes).

Aquí se concuerda con Gould, en que debido a que ninguna de las premisas básicas del darwinismo está exenta de excepciones,<sup>20</sup> conviene más reconocer la historia natural como una ciencia de frecuencias relativas, y para analizar la obra de Darwin es mejor realizar un análisis textual, que recurrir a las citas selectivas. De tal forma que podemos expresar que a pesar de que Darwin reconocía una gran variación en las tasas de cambio, posiblemente el gradualismo sea la convicción más central y omnipresente en su pensamiento. El gradualismo es una consecuencia lógica de la selección para que sea creativa; pero además la extrapolación uniformista no funcionaría a menos que el cambio de pequeñas variaciones se sume a lo largo del tiempo geológico.

Para Darwin, el gradualismo representa una doctrina compleja, con varios significados interconectados (al menos tres), pero en algunos aspectos independientes. El más amplio es la continuidad histórica de materia e información, el segundo es la intermediación imperceptible (se debe pasar por una larga secuencia de pasos intermedios imperceptibles) (Gould, 2004:175).

---

<sup>20</sup> En la sexta edición de *El Origen* (1872b: 395) se lee

Puesto que mis conclusiones han sido muy tergiversadas últimamente y se ha afirmado que atribuyo la modificación de las especies exclusivamente a la selección natural, se me permitirá remarcar que en la primera edición de esta obra y en las siguientes he puesto en lugar bien visible, al final de la introducción, las palabras siguientes: “Estoy convencido de que la selección natural ha sido el medio principal, si bien no el único, de modificación”.

“Según la teoría de la selección natural, todas las especies vivas han estado enlazadas con la especie madre de cada género, por diferencias no mayores que las que vemos hoy día entre las variedades de la misma especie” (Darwin 1859: 281).

Darwin también defendió un tercer significado del gradualismo; esto es que el cambio debe ser imperceptiblemente gradual incluso a escala geológica, y que el flujo continuo (a velocidades variables) representa el estado usual de la naturaleza. (Darwin, 1859: 178). En el siguiente pasaje Darwin conjunta los tres significados del gradualismo:

La selección natural obra solamente mediante la conservación y acumulación de modificaciones infinitesimales heredadas, provechosas todas al ser conservado; y así como la geología moderna casi ha desterrado opiniones tales como la excavación de un gran valle por una sola avenida fluvial, de igual modo la selección natural desterrará la creencia de la creación continua de nuevos seres orgánicos o de cualquier modificación grande y súbita de su estructura (págs. 95-96) (Gould, 2004:181).

El desafío del equilibrio puntuado a la selección natural estriba en dos temas: la contribución de la geometría puntuacional a la explicación de las tendencias cladales por el éxito diferencial de las especies en lugar de la extrapolación de la anagénesis, y la alta frecuencia relativa de la selección de especies en oposición a la exclusividad organísmica darwiniana (Gould, 2004:179).

Respecto a la síntesis evolutiva, la centralidad de la gradualidad y la extrapolación se hacen evidentes en el siguiente pasaje:

El término “síntesis evolutiva” fue introducido por Julian Huxley en *Evolution: The Modern Synthesis* (1942) para designar la aceptación general de dos conclusiones: la evolución gradual puede ser explicada sobre la base de pequeños cambios genéticos (“mutaciones”) y recombinaciones, y el orden de estas variaciones mediante la selección natural; y los fenómenos evolutivos

observados, particularmente los procesos macroevolutivos y la especiación, pueden ser explicados de una manera que es compatible con los mecanismos genéticos conocidos (Eldredge, 1997: 13).

Por otro lado Ernst Mayr ha establecido el papel desempeñado por el campo de la sistemática, en la emergencia de la teoría sintética de la evolución, las contribuciones son las siguientes:

1) El pensamiento sobre la población, 2) la inmensa variabilidad de las especies, 3) el gradualismo en la evolución, 4) la naturaleza genética de la evolución gradual, 5) la especiación geográfica, 6) la naturaleza adaptativa de la variación observada, 7) la creencia en la importancia de la selección natural, 8) la noción (compartida por los paleontólogos) de que los fenómenos macroevolutivos hay que interpretarlos en términos de evolución gradual.

En el libro *Systematics and the Origin of Species* (1942), Mayr se esfuerza en demostrar que la diferenciación genotípica dentro de las especies subyace a las diferencias fenotípicas entre las especies como un *continuum* suave; apoya la noción de que las especies exhiben una variación geográfica dentro de las poblaciones y entre poblaciones, la variación está principalmente fundada genéticamente y es siempre adaptativa. “Una especie, considerada de esta manera, es simplemente un estadio transitorio de una corriente continua de diferenciación adaptativa”. El punto de vista es perfectamente darwiniano y está de acuerdo con las nociones de adaptación de Dobzhansky (1937, 1941) y Simpson (1944) (Eldredge, 1997:60- 61).

Aquí es relevante mencionar la caracterización que Eldredge y Cracraft realizan de los tres modos de evolución que postula Simpson

1. Especiación: diferenciación, usualmente un fenómeno dentro de las especies. En términos de la retícula adaptativa, ello implica o bien diferenciación de una población en subzonas dentro de una zona única, o



bien la elaboración de nuevas adaptaciones, permitiendo invasiones posteriores en nuevas subzonas.

2. Evolución filética: “cambio direccional (pero no necesariamente rectilíneo) y sostenido de los caracteres promedio de las poblaciones”, un modo “típicamente relacionado con rangos taxonómicos medios, generalmente géneros, subfamilias y familias. En relación con la retícula adaptativa, la evolución filética es usualmente o más claramente contemplada como una progresión de líneas únicas o múltiples dentro de los límites de una zona más bien amplia” (Simpson 1944, p. 200)

3. Evolución cuántica: “cambio relativamente rápido de una población biótica en desequilibrio, a un equilibrio marcadamente distinto de una condición ancestral” (Simpson 1944, p. 206). Como los otros modos, puede hacer surgir taxones de cualquier rango, pero Simpson propone la evolución cuántica como “el proceso dominante y más esencial en el origen de las unidades taxonómicas de rango relativamente alto, tales como familias, órdenes y clases”. En los términos de la retícula adaptativa, la evolución cuántica atañe a los cambios interzonales (Eldredge y Cracraft 1980: 261) (En Eldredge, 1997: 99-100).

## **La Estasis**

En relación a la estasis o relativa estabilidad de las formas orgánicas, ya se ha señalado que es uno de los conceptos fundamentales de la teoría del equilibrio puntuado<sup>21</sup>. Aquí nos aproximaremos mencionando un conocido y antiguo debate entre las concepciones estructuralista y funcionalista de la morfología; ya que cualquier explicación completa de la morfología debe considerar dos dimensiones; aquella donde los organismos comúnmente están bien adaptados a su entorno inmediato, y la otra acerca de que están construidos según planes anatómicos que trascienden cualquier circunstancia particular (Gould 2004: 278-279). La cuestión de la primacía de uno u otro principio se ha mantenido en el centro de la escena de la

---

<sup>21</sup> En este trabajo se formularon las preguntas dos y tres del cuestionario aplicado a los estudiantes para indagar respecto al fenómeno de la estasis.

historia natural durante largo tiempo. ¿Deberíamos contemplar el orden taxonómico de alto nivel como primario, y las adaptaciones locales como un conjunto secundario y menor? ¿O es la adaptación funcional la que tiene prioridad en el establecimiento de vías y direcciones evolutivas? (Gould 2004:279).

Darwin en el capítulo titulado “Dificultades de la teoría” del *Origen de las Especies*, interpreta esta dicotomía entre la “unidad de tipo” y las “condiciones de existencia” como seleccionista. Es decir, adscribe las “condiciones de existencia” a la adaptación inmediata por selección natural, y “la unidad de tipo” a la constricción derivada de la herencia de estructuras homólogas que evolucionaron en su tiempo también como adaptaciones. Entonces como explicación de toda morfología, señaló a la selección natural como “ley superior” que resulta en una adaptación presente o como una constricción consecuencia de una adaptación pasada en sus ancestros (Gould 2004:88). Aunque muchos biólogos decimonónicos sentían que Darwin había exagerado y que tanto la constricción como la adaptación debían equipararse respecto a su importancia y frecuencia relativa. Los diversos modelos de la causación evolutiva en los últimos años, descomponen la forma inmediata de un organismo en tres contribuciones principales: adaptación actual, constricción actual y herencia histórica (Gould 2004:284). Así un rasgo actual de un organismo puede ser resultado de una adaptación inmediata al medio circundante, o una constricción estructural (arquitectónica), o de la herencia de una forma ancestral (Gould 2004:284).

Se coincide con Gould cuando expresa que a pesar de que estos temas y análisis han impregnado la historia natural desde que Platón y Aristóteles iniciaran la controversia entre forma abstracta y teleología, y que Darwin hizo una contribución fundamental al añadir una dimensión histórica; el creciente conocimiento de la genética, ontogenia y macroevolución hace necesario revalorar la constricción como un tópico importante.

Es interesante que desde la tradición más antigua de la historia natural moderna, es decir la teología natural, también existieran dos versiones que expresan la misma dicotomía –es importante ya que Darwin construyó su teoría de la evolución en continuidad con la tradición inglesa del adaptacionismo de William Paley. Aunque anclados en sistemas creacionistas, Paley y Agassiz confrontaron sus posturas; el primero funcionalista, el cual alababa a Dios en los detalles del diseño, ya que él había previsto las necesidades de cada especie y creó los órganos necesarios para satisfacerlas (Gould 2004: 288-289). En cambio Louis Agassiz era un formalista que aclamaba a Dios en la grandeza del orden taxonómico, pues señalaba que este orden taxonómico a todos los niveles (no el comportamiento o las funciones de las criaturas individuales) refleja la naturaleza y la intención de Dios. Tacha la adaptación de engañosa, porque el buen ajuste no hace nada más que confundirnos en la búsqueda de un orden más profundo, oscurece el Bauplan<sup>22</sup> subyacente (Gould 2004: 298-306).

J. W. von Goethe se interesó toda su vida en la morfología, siempre con una visión formalista (en su versión más fuerte) y proponía la idea de una única forma arquetípica generadora que establece tanto los límites como las posibilidades de realización morfológica. La hoja representa una forma arquetípica para todas las partes vegetales derivadas del tallo central (hojas caulinares, sépalos, pétalos, pistilos, estambres, cotiledones, frutos). Aquí la hoja no debería tomarse como la reducción de toda la diversidad de partes vegetales a la hoja, sino como un principio generador abstracto con muchas expresiones. Establece el papel central de la primacía del internalismo, aunque sí considera el papel vital, pero secundario de la adaptación (Gould 2004: 309-317).

En las teorías formalistas o estructuralistas se establece un compromiso entre las leyes generadoras de la forma y la oposición a la explicación adaptacionista como meta primaria de la morfología. Darwin como funcionalista, encontró brillantemente

---

<sup>22</sup> Bauplan. Estructura básica que define un conjunto de formas que constituyen un taxón superior, especialmente un Filum (Fontdevila y Moya, 2003:459).

la manera de relegar las leyes morfológicas a un estatuto secundario al identificar la mayoría de los principios generadores (aunque no todos) como adaptaciones pasadas (Gould 2004: 309-318). Para Darwin, la discontinuidad morfológica es producto de la extinción de formas intermedias dentro de un espacio isotrópico y accesible en todos sus puntos, mientras que para el universo formalista la discontinuidad es inseparable de la estructura del espacio habitable (Gould 2004: 309-318).

A principios del siglo XIX la afamada controversia entre Georges Cuvier y Étienne Geoffroy Saint-Hilaire ha sido interpretada como una acerca del evolucionismo contra el creacionismo, pero sobre todo representó una batalla entre las explicaciones formalistas (Geoffroy) y funcionalistas (Cuvier). (Gould 2004: 88-89). Cuvier creía que los rasgos comunes de los Bauplan reflejaban reglas de correlación funcionales e inmediatas, y afirmaba que en los organismos, no existe ninguna parte “en vano”, la evolución resulta literalmente inconcebible porque el cambio de una parte de un organismo, requiere del correspondiente reajuste del resto. (Gould 2004: 321). Por otra parte sostenía que las leyes de la forma orgánica tenían una base puramente funcional, y aunque propuso una taxonomía animal que sustituyó a la vieja división entre vertebrados e invertebrados nunca la interpretó a la manera formalista. Propuso un sistema de cuatro “embranchements”<sup>23</sup> definidos por planes anatómicos separados y no transformables: radiados, articulados, moluscos y vertebrados y aseguró que la unidad dentro de un “embranchements” era el resultado de la disposición compartida del sistema nervioso (el más importante para los funcionalistas). (Gould 2004: 323).

Geoffroy, por su parte aplicó la noción formalista de unidad de tipo al esqueleto de los vertebrados, propuso que la forma arquetípica era la prioritaria, mientras que la funcionalidad diversificada representaba un conjunto de modificaciones

---

<sup>23</sup> Embranchements. Principal división del reino animal o vegetal. Ramificación *Diccionario Espasa Grand: español-francés français-espagnol* © 2000 Espasa-Calpe S.A., Madrid consultado en <http://www.wordreference.com/fres/embrasser> el 17 -04-2014

secundarias, impuestas por las condiciones de existencia sobre la forma primaria subyacente. De aquí que la función no crea la forma sino que la forma es la que encuentra su función. En sus propuestas encontramos errores importantes (como la supuesta homología entre el plan vertebrado y un cefalópodo doblado hacia atrás), pero algunas se encuentran parcialmente confirmadas por la hoxología de la moderna embriología evolutiva (como el diseño supuestamente compartido entre vertebrados e insectos) (Gould 2004: 323 y sigs.).

Las preferencias adaptacionistas han estado en mucho del lado de los ingleses, con un camino continuado de compromisos funcionalistas que van desde Paley y Darwin, hasta Fisher y la Síntesis moderna; mientras que en el otro polo de la dicotomía se encuentran las tradiciones continentales de formalistas y estructuralistas como Agassiz, Goethe y Geoffroy hasta Goldschimidth y Schindewolf a mediados del siglo XX. Es interesante apuntar que las complejas ideas de Richard Owen, adquieren sentido cuando se le considera un exponente anglófono de una teoría formalista, la cual intenta explicar el esqueleto vertebrado entero –incluido cráneo y extremidades— como un conjunto de variaciones del arquetipo vertebral. (Gould 2004: 89, 345).

Darwin trató las constricciones formalistas (correlaciones de crecimiento) en *El Origen*, pero de una manera más profunda en su obra titulada *The variation of Animals and Plants under Domestication* publicada en 1868, pero los efectos formalistas se encuentran subordinados a una posición causal secundaria respecto a la selección natural y la adaptación (Gould 2004: 358-369). Para Darwin la estasis es algo que se presenta raramente, ya que comúnmente contempla en los linajes, un cambio sostenido –aunque no siempre de la misma intensidad:

Puesto que, en un mundo repleto de vida, la competencia es ubicua, eficiente e implacable, el cambio constante debería ser la norma, mientras que la estasis debería reflejar una situación inusual de competencia disminuida; este sería el caso de los “Fósiles vivientes”, explícitamente calificados de “anómalos” por Darwin: **Estas formas anómalas pueden**

**llamarse fósiles vivientes; han resistido hasta hoy por haber vivido en regiones confinadas y por haber estado expuesta a una competencia menos variada y, por consiguiente, menos severa (Darwin 1859: 107) <sup>24</sup>.**

Aunque rara, la explicación más probable de la estasis, es la ausencia de presiones selectivas; no obstante tratándose del registro fósil, la estasis puede ser aparente (Darwin, 1859:173).

El cambio evolutivo, afirma Darwin, suele proceder tan lentamente que incluso el inmenso lapso de tiempo representado por una formación geológica *media* puede ser más corto que el tiempo medio requerido para la transformación de una especie en otra. Así, la estasis aparente puede representar de hecho **una tasa de cambio promedio, imperceptiblemente gradual<sup>25</sup>** incluso a escala geológica (Darwin, 1859:179).

Sin embargo, para los puntualistas, la estasis es parte de un patrón evolutivo.

Las especies nuevas aparecen de manera relativamente abrupta, significando una transición rápida con poca esperanza de hallar ejemplares intermedios entre las especies ancestrales y descendientes. El origen de una especie es seguida típicamente por un período bastante amplio de estabilidad, o *estasis*, con poca transformación evolutiva extra: virtualmente todas las instancias conocidas de cambios adaptativos mayores que caracterizan el origen de grupos grandes de organismos (tales como familias, órdenes, o clases) ocurren rápidamente, especialmente cuando se comparan con largas historias subsecuentes de estos grupos en donde las tasas de cambio evolutivo son invariablemente mucho más modestas (Eldredge, 1991: 223).

---

<sup>24</sup> Aquí se subrayó la última parte del párrafo.

<sup>25</sup> El subrayado es mío.

Si las especies son entidades limitadas espacialmente en cualquier tiempo, la base empírica del registro sugiere que también están limitadas temporalmente. Estas entidades, que son la materia misma del registro fósil, parecen tener comienzos, historias y terminaciones; entonces la base empírica del equilibrio puntuado está de acuerdo con la idea de que las especies son individuos. El cambio morfológico en la especiación está fuertemente constreñido por los fenotipos y genotipos preexistentes de los organismos de las especies ancestrales (Eldredge, 1997: 160-62). Como por ejemplo, el registro fósil de los metazoos, es esencialmente una secuencia compleja de entes anatómicos estables y diferenciados; en casi todos los casos ocupan rangos temporales amplios. Por ejemplo, en los estratos rocosos del grupo "Hamilton" de Norteamérica oriental, existen quizá unas doscientas especies de invertebrados, y casi todas persisten durante el intervalo de seis a ocho millones de años que representan dichas rocas (Eldredge, 1997: 160).

Según Niles Eldredge (2000), los paleontólogos hoy en día están de acuerdo que la estasis —en la cual las especies pueden persistir básicamente en la misma forma por millones de años (entre 5 y 10 millones de años en especies marinas; algo menos en los ambientes terrestres relativamente más volátiles), es un fenómeno común. Hoy se halla documentado empíricamente como típico en la mayoría de las especies de Metazoa y de Plantae por lo menos por los últimos quinientos millones de años. Para la teoría sintética sucesora de la visión darwiniana, la estasis se presenta debido a que la selección natural equilibradora favorece la presencia de diferentes alelos y por lo tanto a las poblaciones polimórficas, pero para los adherentes al equilibrio puntuado —sobre todo para Gould—ella tiene origen en la presencia de dos tipos de constricciones: estructurales, e históricas y ontogénicas (Gould 2004: 130).

Sin embargo, la acentuada estabilidad morfológica que se encuentran en muchas especies fósiles, contrasta claramente con los rápidos cambios evolutivos frecuentemente adaptativos documentados en muchas especies vivas (Reznick et al.

1997, Thompson 1998, Huey et al. 2000; Thomas et al. 2001, citados en Eldredge et al., 2005:133). Los avances en la comprensión de los registros fósiles, la genética de poblaciones y la ecología evolutiva señalan la compleja estructura geográfica de las especies como elemento fundamental para la resolución de cómo los taxones comúnmente pueden presentar tanto la dinámica evolutiva a corto plazo, como la estasis a largo plazo. Investigaciones en las últimas décadas han sugerido que en el caso de especies que habitan ambientes heterogéneos, se presenta un complejo patrón de selección, que aunado a la coevolución pueden mantener estasis en la especie, sobre largos periodos de tiempo. Ni la carencia de variación genética, ni de constricciones génicas y del desarrollo, puedan explicar por si solas, la estasis de toda la especie (Eldredge et al., 2005: 142).

Finalmente, citaré cómo considera Eldredge a la evolución:

...la evolución me parece mucho más una cuestión de producir sistemas que funcionan, los organismos que: 1 pueden funcionar en la esfera económica y 2 pueden reproducirse. Una vez que el sistema está en pie y sigue, lo hará así indefinidamente –hasta que algo suceda. Casi siempre ese “algo” es el cambio medioambiental fisicoquímico. El juego económico está distorsionado. Más a menudo, como nos dice tan elocuentemente el registro fósil, el sistema se degrada y tiene que ser reconstruido, utilizando los sobrevivientes para moldear una nueva versión que funcione (1997: 261-2).



## COMPARACIÓN ENTRE LAS TEORÍAS SINTÉTICA Y DEL EQUILIBRIO PUNTUADO

### Sobre la forma de comparar

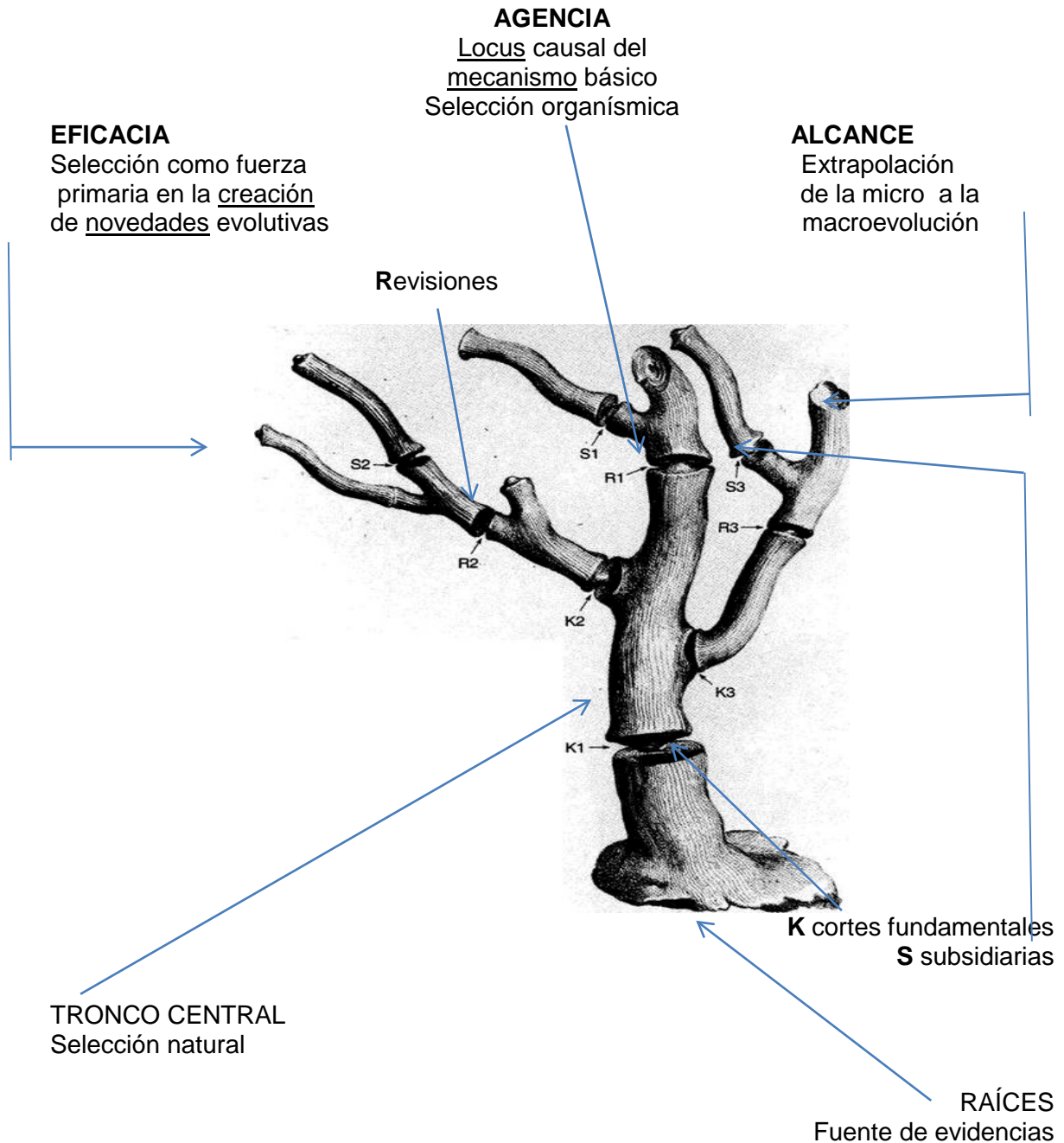
En este apartado es relevante formularnos la pregunta ¿cómo se pueden comparar la teoría sintética y el equilibrio puntuado? Aquí partimos, en primer lugar del núcleo seleccionista. Para Ruiz y Ayala (2008: 467 y siguientes) éste se refiere a la selección natural que es “el principio por el cual toda variación favorable, por ligera que sea, es conservada”, aunque también es acumulativa, creadora y oportunista.

Una formulación básica establece a la selección natural fundamentada en tres hechos; la variación, la heredabilidad y la sobreproducción de la descendencia. Es decir, los organismos con mayor éxito reproductivo, serán las variantes que en promedio, resulten estar mejor adaptadas a los entornos locales cambiantes; los cuales transferirán a sus descendientes por herencia, sus rasgos favorecidos (Gould, 2004:37). Aquí “las mutaciones que producen variaciones hereditarias disponibles para la selección surgen al azar, independientemente de si son benéficas o perjudiciales a los portadores” (Ruiz y Ayala, 2008: 471).

En segundo lugar debemos establecer la manera en que podamos hacer comparables ambas teorías, y esto es posible a partir del análisis de su estructura; que incluye una armazón (que define la forma básica) y los cimientos (que le dan un soporte invisible). El modelo que se considera para esto, siguiendo a Gould (2004 [2002]: 40-41) es el “coral de Scilla” cuya imagen reproduzco a continuación:

## Estructura de la teoría evolutiva

### ESTRUCTURA DE LA TEORÍA EVOLUTIVA / CORAL DE SCILLA



Para Gould tanto la armazón como los cimientos persisten en la estructura emergente de una teoría evolutiva más adecuada. Pero, ¿por qué emplear esta metáfora?

Porque los tres principios fundamentales constituyen el esqueleto entero de una visión global evolutiva, más aún, define las principales objeciones y alternativas que han motivado los debates más interesantes, señala los puntos que deben apuntalarse o expandirse y el locus de cuestiones no resueltas.

La forma en que la teoría sintética resuelve estos tres puntos de la estructura se resumen a continuación<sup>26</sup>.

### ESTRUCTURA DE LA TEORÍA SINTÉTICA Y REFUTACIONES A PARTIR DEL EQUILIBRIO PUNTUADO

	PRINCIPIO	TEORÍA SINTÉTICA	OBJECIONES
<b>AGENCIA</b>	<b>Locus</b> causal del <b>mecanismo</b> básico, Selección organísmica	La agencia o la <b>lucha de los organismos</b> por la vida, es el <b>nivel apropiado</b> (y casi exclusivo) de la <b>selección</b> natural.	El <b>locus</b> de acción se presenta en <b>un solo nivel</b> (casi sin excepciones), todo “ <b>orden superior</b> ” emerge de las <b>luchas</b> de los organismos individuales para su propio <b>beneficio</b> , mediante un <b>diferencial</b> en el éxito <b>reproductivo</b> .
<b>EFICACIA</b>	<b>Selección</b> como <b>fuerza creativa</b> primaria de las <b>novedades</b> evolutivas	La eficacia o la <b>identificación</b> de la <b>selección</b> natural se señalan como la <b>fuerza creadora</b> del <b>cambio</b> evolutivo, ubicando al <b>gradualismo</b> y al <b>adaptacionismo</b> como <b>focos</b> del análisis evolucionista.	<p>La <b>selección</b> natural sólo puede tener el carácter <b>creativo</b>, si la <b>variación</b> es <b>profusa</b>, se <b>desvía poco de la media</b> y <b>no está dirigida</b> hacia las necesidades <b>adaptativas</b> de los organismos.</p> <p>El <b>gradualismo</b> resulta en una inferencia deductiva de la selección cuando se considera como mecanismo creativo del cambio</p> <p>El <b>gradualismo</b> se asume con <b>tres significados</b>:</p> <p>Como <b>simple continuidad histórica de materia o información</b> que subyace a la evolución,</p> <p>como <b>intermediación</b> de <b>formas transicionales</b>, y como tesis geológica de <b>lentitud</b> y <b>suavidad</b> del cambio.</p> <p>La tercera implicación principal sobre la selección como fuerza creativa es el <b>programa adaptacionista</b>,</p>

<sup>26</sup> La información se considera a partir de Gould, 2004 [2002].

			<p>debido a que la evolución debe proceder <b>paso a paso</b>, y cada cambio ligero, debe dar organismos <b>mejor adaptados</b> a las alteraciones del <b>entorno</b> local.</p> <p>En concreto, para que la <b>selección</b> natural sea la fuerza <b>creativa</b> importante se hace <b>necesaria</b> la isotropía de la <b>variación</b>, la centralidad de la <b>adaptación</b> y la omnipresencia del <b>gradualismo</b>.</p>
<b>ALCANCE</b>	<b>Extrapolación microevolutiva a escalas macroevolutivas</b>	<p>Se hacen <b>inferencias</b> sobre la <b>filogenia</b> a partir de un <b>registro fósil imperfecto</b>, que en <b>ningún momento</b> permite “ver” las <b>causas pasadas</b> directamente, pero <b>permite sacar conclusiones</b> a partir de los <b>resultados</b> preservados.</p> <p>La macroevolución se explica por los procesos microevolutivos en extensos periodos.</p> <p>Por lo tanto, se procede a la explicación de hechos a escala geológica por extrapolación de procesos a corto plazo.</p> <p>Como la <b>extrapolación</b> a lapsos de <b>tiempo más largos</b> de <b>cambios</b> evolutivos observados en <b>tiempos históricos</b>.</p> <p>Por ejemplo por <b>analogía</b> con la <b>domesticación</b> y la <b>horticultura</b>.</p>	<p>El <b>gradualismo</b> como tesis <b>geológica</b> del <b>cambio</b>, es el aspecto que el Equilibrio puntuado refuta, ya que cuestiona las suposiciones <b>uniformista</b> y <b>continuista</b>.</p> <p>La <b>discusión</b> se enfoca en el requerimiento de <b>estilos gradualistas de cambio a escala geológica</b> (por ejemplo la adopción del <b>uniformismo</b> de Lyell, y la negación del <b>catastrofismo</b>).</p>

Sin embargo es menester señalar las modificaciones consideradas en el equilibrio puntuado que también se resumen a manera de cuadro<sup>27</sup>

<sup>27</sup> La información se considera a partir de Gould, 2004 [2002].

**MODIFICACIONES DE LA ESTRUCTURA CONSIDERADAS POR EL EQUILIBRIO  
PUNTUADO**

	<b>Cortes K</b> Destruiría n la teoría	<b>Cortes R, Revisiones</b> Fundamento darwiniano intacto, estructura explicativa general expandida	<b>Cortes S, subsidiarios</b> Afectan una subrama, reformulando la teoría, pero dejando intacta la estructura explicativa básica.
<b>AGENCIA</b> Locus causal del mecanismo básico, Selección organísmica	Se presentaron en el siglo XIX, pero no prosperaron	Se <b>expandió</b> a un <b>modelo jerárquico</b> de selección a varios niveles de individualidad darwiniana. GENES LINAJES CELULARES ORGANISMOS DEMES ESPECIES CLADOS  Las <b>especies</b> se tratan como <b>individuos</b> darwinianos legítimos. Se formula una <b>base especiacional</b> para la <b>macroevolución</b> .	Respetar el mecanismo selectivo del cambio evolutivo. La armonía en el <b>nivel superior</b> <b>no</b> solo es el <b>resultado</b> emergente de <b>agentes de nivel</b> más bajo que <b>obedecen</b> a su propio <b>éxito reproductivo</b> .
<b>EFICACIA</b> Selección como fuerza creativa primaria de las novedades evolutivas		Otorga <b>peso</b> al pensamiento <b>formalista</b> . <b>Constricciones:</b> ESTRUCTURALES <sup>28</sup> e HISTÓRICAS y ONTOGÉNICAS <sup>29</sup>  El <b>funcionamiento externalista</b> de la adaptación, <b>no basta</b> para explicar la evolución, la canalización por vías filéticas, ni el morfoespacio arracimado orgánico.	Los <b>pasos iniciales</b> de un cambio adaptativo frecuentemente son <b>menos</b> <b>graduales</b> de lo que puede admitir el continuismo puro de la <b>selección darwiniana</b> .
<b>ALCANCE</b> Extrapolación microevolutiva a a escalas macroevolutivas		Respeto que la <b>microevolución</b> puede generar <b>patrones</b> por <b>acumulación</b> a escala geológica, pero <b>añade</b> modos propiamente <b>macroevolutivos</b> como la explicación de las <b>tendencias</b> evolutivas por <b>cribado</b> se especies bajo Equilibrio puntuado.	<b>Respeto</b> el <b>extrapolacionismo</b> evolutivo, <b>niega</b> el <b>progreso</b> que Darwin sustenta con <b>argumentos</b> <b>ecológicos</b> y la <b>prioridad</b> de la competencia <b>biótica sobre la</b> <b>abiótica</b> .

<sup>28</sup> **Constricción estructural.** Se consideran como producidas de manera directa por fuerzas físicas que actúan bajo las leyes invariantes de la naturaleza.

<sup>29</sup> **Las constricciones históricas y ontogénicas** son aquellas relacionadas con la evolución del desarrollo, sobre todo con la canalización interna de las trayectorias evolutivas. Se relacionan con el concepto de Bauplan que es el plan corporal de un animal referido a la disposición interna de sus tejidos, órganos y sistemas, a su asimetría y el número de segmentos corporales y de extremidades que posee.

Ejemplos de este tipo de restricciones son la heterocronía, alometría y la homología profunda.

Una dimensión importante del equilibrio puntuado es la integración de la estructura y función en la evolución, es decir aspectos relacionados con los medios internos y externos. Por ejemplo, los rasgos de los organismos pueden ser adaptaciones originadas por selección natural, pero también pueden ser no adaptativas en su origen, como “las enjutas” - que son las consecuencias inevitables de otros rasgos estructurales, como el caso del mentón humano. Por razones estructurales el número de enjutas potenciales se incrementa a medida que los organismos y sus rasgos se hacen más complejos.<sup>30</sup> Una vez que las características de los organismos se encuentran establecidas, la selección natural les puede encontrar alguna “nueva utilidad” (metafóricamente hablando) y entonces recibirán la denominación de “exaptaciones”. Se dice entonces que las estructuras son “cooptadas” hacia una nueva función (Gould, 2004). Probablemente, las enjutas son las estructuras más frecuentes e importantes en la historia de los linajes, pero la tradición darwiniana las ha relegado a un papel insignificante.

Como ya se había mencionado, una de las críticas al citado programa adaptacionista de la teoría sintética consideraba que muchos de los caracteres de los organismos eran consecuencias secundarias imprevistas o subproductos de la selección natural, en lugar de adaptaciones directas. Para describir tales características se acuñó el término “exaptación” (Gould y Vrba, 1982). Una exaptación es un carácter, que previamente fue moldeado por selección natural para una función particular (una adaptación) y es cooptado para un nuevo uso, o un carácter que originalmente no fue adscrito a la selección natural (por ejemplo un carácter neutro) y es cooptado para un uso actual (Gould y Vrba, 1982:5). Un ejemplo se refiere a los huesos de los vertebrados, cuya función original posiblemente haya sido la de servir como reservorio de calcio y posteriormente como protección de órganos vitales y aumento de la consistencia interna; pero la transición a la vida terrestre le permitió adoptar una nueva función de sostén.

Ahora bien, tanto la exaptación como las enjutas ofrecen una solución para el problema de la evolucionabilidad. La teoría sintética señala que la selección organizmica ordinaria, parece restringir y limitar las posibilidades evolutivas futuras al crear formas

---

<sup>30</sup> Por ejemplo el número de enjutas posibles del cerebro humano será mayor que las de un organismo unicelular.

especializadas adaptadas al entorno inmediato (Gould, 2004). Las enjutas no están condenadas a papeles secundarios sino que con otras formas de potencial exaptativo definen el dominio de la evolucionabilidad y desempeñan un papel muy importante en la macroevolución.

Por otro lado, el equilibrio puntuado propone una reconsideración de las catástrofes y un escalonamiento temporal. Las extinciones en masa catastróficas pueden sugerir un modelo macroevolutivo simplificado con mecanismos distintos a diferentes escalas, es decir, la microevolución darwiniana convencional dominante a la escala ecológica de tiempos cortos y dinámicas intraespecíficas, el equilibrio puntuado dominante a la escala geológica de las tendencias filéticas, basadas en dinámicas interespecíficas, surgiendo en instantes geológicos y luego tratadas como átomos estables análogos a los organismos, y las extinciones en masa fuerza mayor en la historia global del auge y caída de los clados (Gould, 2004).

## EL PROBLEMA EDUCATIVO

### CONSTRUCTIVISMO

El modelo constructivista ha estado jugando un papel integrador tanto de las investigaciones en los diferentes aspectos de la enseñanza/ aprendizaje de las ciencias, como de las aportaciones procedentes del campo de la epistemología, psicología del aprendizaje y muchos otros. Actualmente las propuestas constructivistas se han convertido en el eje de una transformación fundamentada de la enseñanza de las ciencias (Gil Pérez, 1993), y este trabajo también se presenta desde una perspectiva constructivista.

El constructivismo postula la existencia y prevalencia de procesos activos de construcción de conocimiento, esto es, hace referencia a un sujeto activo que opera e interactúa cognoscitivamente sobre y con la realidad, construyendo conocimiento y desarrollando habilidades y actitudes. De aquí que se considere, retomando a Kant (Campos y Gaspar, 1999:28) que el conocimiento solo es posible mediante la integración de la razón y la experiencia a partir de proposiciones lógicas, lo cual implica la necesidad de la acción cognoscente del sujeto. Por lo que se asume que los alumnos deberán relacionarse activamente con el objeto de conocimiento, en este caso con el contenido curricular de la teoría de la evolución.

Por otro lado, también se sigue a Jean Piaget<sup>1</sup> (1980) ya que se admite que los sujetos construyen tanto la realidad (objeto, en forma de conocimiento) como las propias estructuras cognitivas que permiten esta construcción (Campos y Gaspar, 1999:29), por lo que los alumnos deberán de construir sus particulares estructuras cognitivas.

---

<sup>1</sup> Considerado como cognitivista.



## **Conocimiento**

Aunque el conocimiento puede considerarse como una creencia verdadera y justificada, no puede asumirse como una reproducción directa y fiel de la realidad; sino más bien un producto siempre cambiante de un proceso constructivo (del sujeto) en condiciones sociales específicas, en este caso el contexto aúlico.

El conocimiento incluye lo que se sabe de algún segmento de la realidad en algún nivel de profundidad y precisión; desde el más informal y superficial hasta lo más formal, amplio y profundo. Se puede dividir en tácito, informal o de sentido común, y conocimiento formal o científico, este último se convierte en científico cuando es dependiente de una teoría (plano paradigmático), es coherente entre categorías (plano lógico), es congruente entre categorías y fenómenos a los que se refiere (plano empírico) y tiene determinadas formas de producirlo (plano metodológico) (Campos y Gaspar, 1999). La diferencia con el conocimiento tácito es por tanto epistemológica, no cognoscitiva ni social; las universidades son espacios privilegiados para la enseñanza del conocimiento formal, y los contenidos curriculares en general, y en particular el tratado en este estudio, cumple con todas las características anteriormente expresadas. El tránsito de un conocimiento informal a uno científico se denomina cambio conceptual.

## **Aprendizaje significativo**

Para Ausubel et al., (1993:17) “Todo el aprendizaje en el salón de clases puede ser situado a lo largo de dos dimensiones independientes: la dimensión repetición-aprendizaje significativo y la dimensión recepción-descubrimiento”. El aprendizaje puede resultar significativo cuando se torna en un proceso activo de construcción en el que confluyen el conocimiento previo (lleno de conocimiento formal e informal mezclados), y el conocimiento nuevo que se presenta en clase (que asumimos está lleno de conocimiento formal) articulándose de diversas formas (Cisneros, 2008: 395). Se espera que los alumnos logren un cambio conceptual.

En el aprendizaje por recepción el contenido de la tarea de aprendizaje, se le presenta al estudiante, el que tendrá que relacionarlo con los aspectos relevantes de su estructura cognoscitiva de manera activa y significativa; deberá retenerlo para recuerdo o reconocimiento posterior o como base para el aprendizaje de nuevo material relacionado. En tanto que en el aprendizaje por descubrimiento, el contenido principal de lo que ha de aprenderse se debe descubrir de manera independiente, antes de que se pueda asimilar dentro de la estructura cognoscitiva (Ausubel et al., 1993:17).

En realidad los dos tipos de aprendizaje pueden ser significativos, 1. Si el estudiante emplea una actitud de aprendizaje significativo (una disposición para relacionar de manera significativa el nuevo material de aprendizaje con su estructura existente de conocimiento), y 2. Si la tarea de aprendizaje en sí es potencialmente significativa (si consiste en sí de un material razonable o sensible y si puede relacionarse de manera sustancial y no arbitraria con la estructura cognoscitiva del estudiante particular) (Ausubel et al., 1993).

Respecto a las tareas de aprendizaje, se debe distinguir aquella que involucra la adquisición de corto plazo de conceptos simples un poco inventados, la resolución de problemas artificiales o el aprendizaje de asociaciones arbitrarias en un ambiente de laboratorio; de aquella otra que consiste en la adquisición y retención de largo plazo del complejo sistema de ideas interrelacionadas que caracterizan al cuerpo de conocimientos organizados que los alumnos debe incorporar dentro de sus estructuras cognoscitivas (Ausubel et al.,1993:25).

Para Ausubel (1993) el aprendizaje significa organización e integración de un material nuevo en la estructura cognitiva del que aprende, pero considera un aprendizaje mecánico aquel aprendizaje de nuevas informaciones con poca o ninguna relación a conceptos relevantes existentes en la estructura cognitiva. En ese caso, el nuevo conocimiento es almacenado de manera arbitraria: no hay interacción

entre la nueva información y la ya almacenada, dificultando, así, la retención. El aprendizaje de pares de sílabas sin sentido es un ejemplo típico de aprendizaje mecánico, sin embargo la simple memorización de fórmulas matemáticas, leyes y conceptos puede ser tomada también como ejemplo, aunque se pueda argumentar que en ese caso tiene lugar algún tipo de asociación.

Ausubel (1973; Ausubel, Novak y Hanesian, 1983 en Cisneros 2008) plantea tres condiciones para que se lleve a cabo el aprendizaje significativo y son: a) que el alumno relacione de manera no arbitraria y sustantiva la nueva información con los conocimientos y las experiencias previas que posee en su estructura de conocimientos; b) que los contenidos de aprendizaje posean significado potencial y lógico; y c) que el alumno tenga una disposición o actitud favorable para aprender.

## **Representación**

Para el constructivismo el conocimiento humano no es una simple copia de la realidad, sino el resultado de la interacción con ella; el aprendizaje se considera como un proceso de construcción en el que el estudiante adjudica algún significado a cierto contenido, siendo capaz de transformar su propia representación logrando un cambio conceptual (Hernández Rodríguez, 2002:75). La representación en cuanto a entidad simbólica, es un conjunto concatenado de significados acerca de un objeto que nos permite pensar y hablar de la realidad y actuar en ella; así nos permite decir qué es la realidad, qué objetos o entidades le pertenecen, cómo se relacionan éstos entre sí y cómo nos relacionamos con ellos. La representación es un sustituto del objeto, en cuanto a significado de un objeto, y no en cuanto él mismo (Campos y Gaspar, 1999).

El aprendizaje del conocimiento científico se considera como un proceso constructivo de representaciones semióticas y lógico categoriales, y debido a que se genera a partir del encuentro con conocimiento científico, hace referencia a sus

características lógico-conceptuales en por lo menos tres niveles epistemológicos: descripción, explicación y ejemplificación. De estos niveles el primero responde al qué de las cosas, mientras que el segundo y tercero responden al por qué o cómo y a los cuáles respectivamente (Campos et al., 2010: 24-25); en cada nivel los conceptos se construyen jerárquicamente, de acuerdo con el propio conocimiento previo, las relaciones con otros conceptos, las formas de interacción que se tiene con objetos a que dichos conceptos se refieren, y el contexto temático-situacional (Campos y Cortés, 2002).

La representación siempre opera sobre conocimiento previamente construido, se puede definir siguiendo a Piaget (en Campos y Cortés, 2002) como la reunión de un significador que permite la evocación y un significado, es decir es imagen y objeto incorporados a esquemas previos. En el proceso pedagógico que se plantea en este trabajo, se espera que los alumnos construyan conceptos, que tomados como formas representacionales, puedan dar significado al mundo y a la realidad.

### **Organización conceptual**

Por otra parte, un concepto es un constructo significativo o un conjunto de ideas que por lo menos describen, explican o caracterizan las relaciones de un objeto complejo y procesual. Los conceptos son formas representacionales que dan significado al mundo, la realidad y la experiencia convirtiéndolos en objetos de conocimiento (Campos y Gaspar, 1999: 31), también son entidades lógicas y semánticas que se pueden reconstruir, según se demande, dentro de un sistema organizado flexiblemente (van Dijk y Kintsch, 1983:310). Por esto, en un contexto epistemológico, los conceptos científicos son entidades semánticas que tienen referencia atributiva a la realidad, articulados mediante diversas formas lógicas.

Sin embargo un concepto es más que un sistema de clasificación, es un encadenamiento organizado de significados, su calidad depende de las relaciones

con otras categorías (Neisser, 1989), la interacción con objetos o procesos a que dichos significados se refieren, y el contexto temático situacional en condiciones histórico-social (Ausubel 1973, Sternberg 1987, en Campos y Gaspar, 2005: 20). Precisamente debido a esto, cada persona produce su propia versión de conocimiento, incluyendo el científico, por lo que nuestros estudiantes no son la excepción, aún en un mismo contexto aúlico.

El conocimiento, no importa si es científico o no, adquiere algún tipo de organización mediante la actividad cognitiva; una organización conceptual es una constelación compleja de componentes informativos junto con conexiones lógicas entre ellos. La totalidad de conceptos y de relaciones lógicas de alguien en un momento determinado, puede interpretarse como una colección de zonas de conocimiento conectadas en alguna forma; cada zona representa un tema, a la manera de una “red de relaciones semánticas entre componentes temáticos” (Lemke, 1990 en Campos y Ruiz, 1996:55).

Los conceptos que se encuentran en una organización conceptual determinada pueden estar basados sobre conocimiento científico o no, además pueden estar conectados o relacionados de acuerdo con una lógica científica o no (Campos y Ruiz, 1996:55). En las fases de transición del conocimiento informal a formal, o entre zonas de conocimiento, el sujeto puede tener conceptos y conexiones científicas o no, mezcladas.

Desde el punto de vista de la lógica, dentro de una organización conceptual, las declaraciones conectadas o relacionadas entre sí, permiten el paso de una idea a otra, configurando las bases del razonamiento. Cuando no existe la semántica o lógica de relacionar una declaración o zona de conocimiento con otra, existe una desconexión, por lo que se considera que faltan o son débiles las estructuras de razonamiento (Campos y Ruiz, 1996:55). Entonces la organización producida por el estudiante tendrá zonas ausentes o desconexiones entre ellas.

Desde esta perspectiva, se asume que las personas (incluyendo los alumnos) tienen alguna idea, descripción y hasta alguna explicación de casi cualquier tema, que se obtienen mediante procesos culturales y de interacción social (Campos y Ruiz, 1996), sin embargo puesto que las organizaciones conceptuales son dinámicas debido a la interacción con nuevo conocimiento, al proceso de construcción de categorías y a la interacción social, se abre la posibilidad del cambio conceptual.

En el aula, la construcción de conocimiento se considera un proceso de elaboración debido a que el estudiante selecciona y organiza información estableciendo relaciones entre ellos. Diversos autores afirman que en este proceso el conocimiento previo es fundamental, debido a que el estudiante cuando se encuentra con un nuevo conocimiento, de antemano posee una serie de conceptos, representaciones y saberes que determinan en gran medida la forma en como los organizará y las relaciones que establecerá. El conocimiento previo que se refiere a estructuras conceptuales más o menos organizadas se mantiene a pesar de que los estudiantes reciban largos períodos de instrucción (Hernández Rodríguez, 2002:76).

## **PDHI<sup>2</sup>**

En la escuela no se trata únicamente de que los alumnos aprendan una serie de conceptos y teorías sino de que adquieran habilidades que finalmente los capaciten tanto para la realización de investigación científica como para la aplicación del conocimiento científico en la solución de problemas concretos (Ruíz, 1996:1). Esta indagación también comprende el “Programa de desarrollo de habilidades con base en la estructura de la investigación” (PDHI), que se refiere a una estrategia didáctica que propicia un desempeño efectivo de habilidades seleccionadas de acuerdo con

---

<sup>2</sup> PDHI Es el programa de desarrollo de habilidades con base a la estructura de la investigación propuesto por el Dr. Miguel Ángel Campos Hernández en el 2004.

un tema curricular, en un contexto de diálogo, exploración, análisis y resolución de problemas.

En este programa se considera que la estructura de pensamiento que provee la investigación (la estructura de habilidades), se puede emplear como forma organizada de abordaje a los contenidos de enseñanza de cualquier asignatura (Campos, 2004), puesto que se reconoce que la investigación científica es un procedimiento reflexivo, sistemático, controlado y crítico, que utiliza diversos métodos de razonamiento lógico (Morales, 2004:5 y sigs.), en donde la misma estructura de la investigación provee una forma ordenada de trabajo, en el cual, el propio pensamiento adquiere organización. Las habilidades de pensamiento tienen lugar durante todo el proceso y tienen que ver con las capacidades cognitivas del sujeto.

La investigación, como forma organizada de pensamiento, tiene cuatro momentos o dimensiones: planteamiento del problema, marco teórico, metodología y conclusiones que replanteadas en términos de habilidades integrativas serían búsqueda, bases, procedimiento y resultados (Campos, 2004:3).

La estructura del contenido específico permite seleccionar habilidades particulares con base en las que se desarrolla el pensamiento reflexivo, crítico e inquisitivo. Por ejemplo, en el proceso de organización del pensamiento se utilizan habilidades en dos niveles: lógico-cognoscitivas e integrativas; en las primeras se encuentran las habilidades de análisis, implicación, inferencia y otras, mientras que en las segundas se sitúan las habilidades de comprensión y de resolución de problemas (Campos, 2004). Esta forma de abordaje nos puede conducir a la comprensión o construcción de conocimientos y procedimientos nuevos para cada estudiante, en temas y asignaturas de diversos campos disciplinarios o profesionales (Campos, 2004:3).

El PDHI cumple dos funciones muy importantes: a) proveer organización al trabajo docente, y b) propiciar el desarrollo de habilidades de pensamiento integrados a conocimientos específicos. En resumen la propuesta se refiere a una estrategia didáctica que propicia un desempeño efectivo de habilidades seleccionadas de acuerdo a un tema curricular, en un contexto de diálogo, exploración, análisis y resolución de problemas.

Esta metodología tiene sustento en los siguientes aspectos:

A. El contenido organizado, estructurado lógicamente, tiene mayor probabilidad de inducir al estudiante a desarrollar y lograr un aprendizaje significativo (Ausubel, 1973);

B. La enseñanza explícita de procedimientos estratégicos (mostrar cómo hacer, acompañado por una amplia base de conocimientos organizados), tiene mayor probabilidad de que éstos sean aprendidos y

C. La estructura epistemológica básica de la investigación (exploración o búsqueda, bases teóricas, procedimientos metodológicos y conclusiones), en tanto que proceso estratégico (nivel de resolución de problemas), es un factor estructurador del conocimiento, desarrollador de habilidades (en particular las fluidas) y orientador del proceso, ya que lleva a resultados.

Todo este proceso tiene su aplicación en el aula con características dialógicas e interactivas; en forma sintética se compone de las dimensiones de búsqueda, bases (profundización), procedimiento (aplicación) y resultados.



## **DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS**

Aunque la didáctica de las ciencias se puede concebir como una rama de la pedagogía, la psicología o las ciencias naturales, en este trabajo se considera la perspectiva de Aduríz-Bravo e Izquierdo (2002:130 y siguientes) que sostiene que conforma una disciplina autónoma del ámbito de las ciencias sociales.

Si bien, en la década de los ochenta se inicia el desarrollo de la misma, ya que se publican numerosos estudios relativos a los problemas educativos, se avanza en la conformación de su cuerpo teórico y se constituyen grupos de trabajo; un recorrido histórico de la evolución de la didáctica de las ciencias –de más de cincuenta años—, muestra que se pueden distinguir cinco etapas caracterizadas por sus referentes teóricos (Aduríz-Bravo e Izquierdo, 2002:131; Hernández et al., 2012:4). Estas serían: la etapa disciplinar, la tecnológica, la protodisciplinar, de disciplina emergente, y de disciplina consolidada, las investigaciones que se han hecho sobre la evolución histórica de la didáctica de las ciencias, apoya en cierto grado, la consolidación de la disciplina (Aduríz-Bravo e Izquierdo, 2002:31). De hecho, “la disciplina se ha constituido a partir de las propias ciencias naturales, saliendo de su ámbito metateórico propio y enriqueciéndose con aportes epistemológicos y psicológicos...” (Aduríz-Bravo e Izquierdo, 2002: 136).

De acuerdo a esto, la didáctica de las ciencias se centra en los contenidos de las ciencias desde el punto de vista de su enseñanza y aprendizaje –es una disciplina de basamento mayormente epistemológico—, y se nutre por los hallazgos de otras disciplinas como la psicología y las del área de la ciencia cognitiva (Aduríz-Bravo e Izquierdo, 2002: 136). Para González Galli se centra en campos conceptuales delimitados para examinar los problemas específicos que se plantean desde el punto de vista de su enseñanza y su aprendizaje; así, los contenidos de la enseñanza no vienen dados de antemano sino que quedan, en gran medida por construir, el “saber erudito” no proporciona un contenido de enseñanza para cuya adaptación fuese

suficiente una simplificación descendente, muy al contrario es necesario construir conceptos nuevos (2011:5).

## **Enseñanza de la biología**

Si abordamos la enseñanza de la Biología, un panorama de la misma nos lo presentan Hernández, Correa y Guerra (2012) quienes llevaron a cabo un estudio del estado del arte en el campo de conocimiento de ésta, para el período 2004 a 2008 y encontraron que los problemas abordados en las publicaciones se relacionan principalmente con la categoría “trabajo práctico” en el 38.29%, con la de "enseñanza/aprendizaje de conceptos específicos" en el 29.78%, y con la de "ideas previas/ percepciones/concepciones" en el 6.38% de los casos.

La composición mayoritaria de los equipos de trabajo fue de docentes universitarios que describen trabajos de "tipo de experiencia", y las poblaciones estudiadas estuvieron compuestas principalmente de estudiantes de secundaria y universidad. En cuanto al aspecto biológico abordado el 59.57% de los trabajos se refirió a “los procesos”, seguidos por trabajos acerca de Biología general, y después los de las áreas de estudio; en la subcategoría de procesos la tendencia principal la conforman “los evolutivos” con el 29.78% del total, por lo que la evolución sigue ocupando un lugar sobresaliente en la enseñanza de la Biología (Hernández, et. al. 2012:12, 15); como lo reconoce Soto Sonera cuando afirma que el tema de la evolución tiene un carácter central e integrador en el currículo de la Biología (2009:532, Sánchez Mora 2000:172, 177 y muchos otros).

## **Enseñanza de la evolución biológica**

### **Polémica**

Con respecto a la enseñanza de evolución biológica se sabe que ha sido polémica desde el mismo origen de la teoría, incluso en algunos lugares se han impuesto límites y obstáculos para su enseñanza (Araujo y Roa, 2011: 16). Parecería que cada ámbito en el que se presenta la teoría evolutiva, es un espacio que se muestra controvertido, como advertimos en páginas anteriores, desde el área científica se siguen llevando a cabo interesantísimos debates; pero en el entorno escolar la situación no es menos compleja.

Dentro del currículum se ve como un tema controvertido, difícil de enseñar, que suele revisarse en clases rápidamente y en donde son evitados por los profesores términos como "evolución" y "procesos evolutivos", por temor al enojo de las directivas o padres de familia, principalmente en Estados Unidos en el nivel secundario (Araujo y Roa, 2011: 25). K. A. Cook, señala que

...la evolución no ha sido resaltada en los currículos de ciencias de manera proporcional a su importancia debido a políticas oficiales, intimidación de los profesores de ciencias, la falta de comprensión del público en general acerca de la teoría evolutiva, y un siglo de controversia (2009 en Araujo y Roa, 2011: 22).

Incluso la aceptación y la comprensión de los fundamentos de la evolución por parte del público, es muy baja, por lo que en ocasiones el proceso de enseñanza y aprendizaje de la teoría se ve influido, más por la controversia social, que por las recomendaciones de la comunidad científica (Peñaloza y Mosquera, 2014:2-3). Para autores como Restrepo (2002 en Peñaloza y Mosquera, 2014:9) las discusiones religiosas, políticas, educativas y pedagógicas han determinado no sólo la difusión de la teoría sino la teoría misma, lo que hace resaltar que el debate no sólo ha sido una polémica científica entre expertos sino que ha abarcado al conjunto de la sociedad.

No obstante, en México parece no existir una acusada problemática entre la enseñanza de la teoría evolutiva y el sistema educativo; Lazcano, A. (2005) en un artículo publicado en la revista *Science* titulado “Enseñando la evolución en México: predicando al coro” señala que nuestro país aún mantiene algunas actitudes anticlericales, y la educación pública todavía lleva la marca secular de la Ilustración, de tal modo que esta tradición ha influido en que no tengamos en la actualidad conflictos por la enseñanza de la ciencia en las escuelas.

Resumiendo, las causas por las que la evolución biológica es un tema controvertido en las escuelas se podrían sintetizar en tres: 1) el fundamentalismo religioso, 2) la politización de la evolución, y 3) la mala comprensión de la genética en particular y de la teoría evolutiva en general por parte de los adultos (Hermann, 2008 en Araujo y Roa, 2011: 25). Por otra parte Nehm y Schonfeld señalan como los desafíos centrales en la enseñanza de la evolución a los siguientes: 1) comprender las interrelaciones entre variables cognitivas, afectivas, epistemológicas y religiosas que contribuyen a la perspectiva anti evolutiva en individuos de diferentes edades y niveles educativos, 2) diseñar, implementar y evaluar estrategias que promuevan modelos cognitivos de evolución, y 3) reducir los niveles de actitudes anti evolutivas (Araujo y Roa, 2011: 26).

### **Investigaciones sobre la enseñanza y el aprendizaje de la evolución**

Ahora bien, en la investigación sobre la enseñanza y el aprendizaje de la evolución biológica se ha analizado aspectos didácticos, cognitivos, conceptuales, curriculares, de formación del profesorado y el papel del contexto sociopolítico principalmente (Peñaloza y Mosquera, 2014: 2). Como Araujo Llamas y Roa Acosta (2011) que escribieron sobre el estado del conocimiento de esta disciplina, y al analizar treinta publicaciones en ocho revistas especializadas en enseñanza de las ciencias editadas de 2005 al 2009, lograron un acercamiento a la forma en que se está enseñando, quiénes lo están haciendo, cuáles son las problemáticas, enfoques y tendencias.

Cuando se consideran las publicaciones, resalta el surgimiento de la revista *Evolution: Education and Outreach* durante el 2008, cuyo coeditor fundador es Niles Eldredge<sup>3</sup>; la cual pretende promover la comprensión precisa de la teoría evolutiva por las personas en general, a la vez que ofrece herramientas para su enseñanza. Los contenidos más comunes de las publicaciones en general, son los referentes a las estrategias, juegos y actividades dirigidas a la apropiación de conceptos específicos y la investigación de ideas previas; la gran mayoría se concentra en problemáticas relacionadas con la enseñanza aprendizaje de conceptos específicos como la naturaleza de las ciencias, la teoría evolutiva en su conjunto, la selección natural, la mutación, la adaptación, el ancestro común, los árboles filogenéticos, y la evolución humana (Araujo y Roa, 2011: 30).

### **Enseñanza y aprendizaje de conceptos específicos**

Con relación a la apropiación de conceptos específicos, coincidimos en que es importante clarificar los términos técnicos que se emplean en las teorías, tal como lo refiere Esther M. Van Dijk E, y Thomas A. C. Reydon (2010) que presentan un panorama esquemático de conceptos centrales usados en evolución, haciéndose resaltar en el contexto de las ideas equivocadas extendidas entre los estudiantes, y señalando algunas recomendaciones para la enseñanza de la teoría. Los autores afirman que este análisis de conceptos puede ser de utilidad como una herramienta de enseñanza para los maestros en servicio o en preparación. Cabe aclarar que muchos de los conceptos aún se encuentran en debate en la filosofía de la biología. Es el caso de la selección natural, que se considera como el concepto más importante de la teoría evolutiva en la enseñanza de la biología<sup>4</sup>, en didáctica es necesario tener particularmente claro que selección significa lo opuesto que en la vida diaria, en el sentido común seleccionamos a los mejores, mientras que en biología muchas veces, se seleccionan los peores y no se dejan pasar. (Van Dijk y Reydon, 2010: 671-673).

---

<sup>3</sup> Coautor de la teoría del equilibrio puntuado

<sup>4</sup> La naturaleza de la selección está en controversia entre los filósofos (Van Dijk y Reydon, 2010)

Otro asunto parecido lo tenemos en el concepto de evolución que se refiere a una variedad de procesos en el tiempo, en un contexto general; pero en biología el uso del término es muy estricto, y se refiere al producto particular del proceso en el planeta (Hull 1989:224), denota un tipo específico de proceso natural. Por ello, se debe enfatizar la diferencia entre el término de evolución empleado coloquialmente, y el científico; y señalar que en el aula sólo se usará el estricto sentido científico (Van Dijk y Reydon, 2010:673-674). Por ejemplo, muchas personas interpretan falsamente a la evolución como un proceso progresivo y dirigido a una meta final, a veces se contempla como lineal y hay una cumbre en la que está el hombre; sin embargo es difícil medir las ideas generales acerca del progreso, además el término “progreso” en biología evolutiva no tiene una definición sencilla, ya que la evolución construye a partir de lo que está, tampoco es claro para los estudiantes que la evolución ocurre a diferentes niveles de organización (Van Dijk y Reydon, 2010: 673-674).

### **Estrategias de enseñanza**

Por otra parte, la manera en que se enseña teoría evolutiva en el aula es diversa, es posible hallar distintas actividades, estrategias y contenidos dirigidos a la apropiación de los conceptos. Por ejemplo la estrategia denominada EDCC<sup>5</sup> propuesta por Miguel Ángel. Campos Hernández, Sara Gaspar Hernández y Leticia Cortés Ríos (2003) que se emplea para mejorar la construcción de conocimiento científico. Otros autores como M. Domènech, y S. Lope, investigan cómo contrastar la evolución con las competencias básicas, generando actividades centradas en la argumentación; mientras que M. C. Hernández Rodríguez (2002) trabaja en la importante contextualización histórica como estrategia didáctica, que favorece la visión global y compleja del modelo evolutivo. L. Scharmann entiende la evolución

---

<sup>5</sup> EDCC se refiere a estrategia de enseñanza para la construcción de conocimiento científico

como un concepto multipropósito, mientras otras estrategias encontradas consideran un módulo de investigación basado en geología y física, o aprendizaje basado en proyectos (Cook, 2009 en Araujo y Roa, 2011: 22).

Una estrategia actualmente muy empleada es el uso de árboles filogenéticos para la enseñanza de la evolución; el entendimiento y construcción de éstos por los estudiantes, permiten entender conceptos clave de la evolución como las ideas de descendencia común, diversidad de la vida, patrones moleculares de especies vivientes y extintas, eras geológicas y tiempo profundo (Baum y Ofner, 2008, en Araujo y Roa, 2011: 26-27).

El uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) es fundamental en la enseñanza de la biología evolutiva<sup>6</sup>, por ejemplo L. Latham (2008) utiliza un software simulador de una población y trabaja conceptos como árboles filogenéticos, selección natural, deriva genética y mutaciones. (Araujo y Roa, 2011: 26-27). A lo largo del tiempo los juegos han sido un recurso fundamental en la enseñanza, se considera que pueden desempeñar un importante papel en la construcción de conocimiento de los estudiantes.

---

<sup>6</sup> Algunas páginas web relacionadas con la enseñanza de la evolución son las siguientes

[www.pbs.org](http://www.pbs.org)  
[www.anth.ucsb.edu](http://www.anth.ucsb.edu)  
[www.talkorigins.org](http://www.talkorigins.org)  
[www.evolution.berkeley.edu](http://www.evolution.berkeley.edu)  
[www.biologycorner.com](http://www.biologycorner.com)  
[www.evogeneao.com](http://www.evogeneao.com)  
[www.cbs.umn.edu/populus](http://www.cbs.umn.edu/populus)  
[www.EvoEdu.com](http://www.EvoEdu.com)  
[www.tolweb.org](http://www.tolweb.org)  
[www.tree-thinking.org](http://www.tree-thinking.org)  
[www.ucmp.berkeley.edu](http://www.ucmp.berkeley.edu)  
[www.tolweb.org](http://www.tolweb.org)

Araujo y Roa( 2011: 30) y Van Dijk y Reydon (2010)

## **Problemática en la enseñanza y el aprendizaje de la evolución**

El aprendizaje de la teoría evolutiva ha sido siempre difícil para los estudiantes de todos los niveles escolares (ver Campos, Sánchez, Gaspar y Paz, 1999 en el caso de la primaria; Guillén, 1996 y Gutiérrez, 2006 en el de secundaria; Campos et al., 1997 para preparatoria; y Alucema, 1996, Campos, Gaspar y Alucema, 2000 y Hernández Rodríguez, 2002 para licenciatura, entre otros). Existen numerosos problemas en su comprensión, ya que los procesos que involucra no se corresponden con el lenguaje cotidiano, ni con lo que pueden percibir los sentidos.

En la educación secundaria los estudiantes presentan explicaciones que difieren del pensamiento científico actual o concepciones alternativas, como intentos de comprender el mundo natural, y que se deben a conflictos entre el conocimiento científico y la religión, o a perspectivas esencialistas, mecanicistas, o teleológicas. (Campos y Cortés 2002), en otros niveles escolares se han observado dificultades similares. Como lo confirman las investigaciones efectuadas por María del Carmen Sánchez Mora donde encuentra que estudiantes mexicanos de nivel secundaria y medio superior muestran un conocimiento general de la teoría de la evolución menor de tres en escala de diez, y los que terminaban la carrera de Biología en la Facultad de Ciencias pero que no habían cursado la materia de evolución –en el plan de estudios anterior, la asignatura era optativa—, apenas lograban una calificación de seis; pero cuando cursan la materia de evolución se alcanza un promedio muy cercano a diez (Sánchez Mora, 2000:172)<sup>7</sup>. También en nuestro país, S. Maciel analiza las concepciones de estudiantes de licenciatura de educación primaria y concluye que existen ideas erróneas sobre la evolución y sus conceptos fundamentales; por lo que propone repensar los currículos de formación de maestros. (Peñaloza y Mosquera, 2014: 5).

---

<sup>7</sup> Por cierto, la autora señala que es necesario que en el bachillerato (en nuestro país) se sustituyan las concepciones erróneas por las científicas, para preparar el futuro aprendizaje de la teoría de la evolución en los estudiantes universitarios (Sánchez Mora, 2000: 170).



Ahora bien, el nivel epistemológico más importante del conocimiento científico es el explicativo, aquel que responde al por qué o el cómo de las cosas. Es precisamente en este nivel en donde los estudiantes tienen muchas dificultades para construir conocimiento, como lo han advertido numerosos investigadores en diversos campos de conocimiento y niveles escolares [ciencias naturales en educación básica (6o. grado: Campos *et al.*, 1999), media básica (7o.: Campos, Cortés y Gaspar, 1999), y diversos ciclos de estudios universitarios (Campos, Ruiz y Alucema, 1996; Alucema, 1996; Campos *et al.*, 2005)].

Por ejemplo, E. Baumgarther, y K. Dunkan, (2009 en Araujo y Roa, 2011: 29) indican que a los estudiantes les cuesta comprender cómo un individuo representa la variabilidad de toda una población, que la variabilidad es necesaria para el cambio evolutivo, tampoco distinguen la diferencia entre individuo y especie cuando describen la selección natural. Asimismo tienen dificultades para la comprensión del tiempo en escala evolutiva, ya que para los estudiantes el cambio transcurre en una sola generación y lo explican casi exclusivamente a través de los cambios experimentados por el individuo; por lo tanto no consideran a la población como unidad de análisis (Grau Sánchez, 1993 en Araujo y Acosta, 2011:28).

Existen muchos factores que intervienen en la problemática de este aprendizaje, de los cuales uno muy importante es el conjunto de características del conocimiento científico con sus exigencias de abordaje lógico, metodológico y, en buena medida, abstracto. Otros factores son la complejidad intrínseca de esta área de conocimiento, la falta de precisión conceptual de algunos textos, la carencia de una visión histórico-filosófica, aunada a la fragmentación de saberes en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, la ausencia de un marco contextual para enseñar evolución, la falta de conocimientos previos, la influencia de las creencias religiosas, la inadecuación de los materiales didácticos, la inconveniente formación del profesorado, la persistencia de concepciones alternativas incompatibles con los modelos científicos, y la creencia en que los modelos teóricos están claramente

formulados sin ambigüedades ni contradicciones (Folguera y González-Galli 2012: 5; Ruiz Gutiérrez et al., 2012:83).

Tal como lo señalan Ruiz Gutiérrez y colaboradores:

Todos estos factores dificultan la comprensión de las teorías y los conceptos evolutivos, devienen de diferentes fuentes que se conjugan en la interacción didáctica y forman “núcleos o nudos problemáticos”...Esos “nudos problemáticos” pueden estar relacionados –y aún ser origen unos de otros– con los obstáculos de alumnos y profesores, la formación y las trayectorias docentes, la naturaleza de los contenidos, las estrategias didácticas y, lo que es más frecuente, diversas combinaciones de estos factores(2012:83).

En relación a los docentes, José Soto-Sonera (2009) llevó a cabo un estudio de caso sobre la enseñanza de la teoría de la evolución biológica, encontrando que los maestros sostienen una epistemología de la ciencia que se caracteriza, entre otros aspectos, por cuestionar la evidencia científica, la metodología de la disciplina, así como el conocimiento que genera; estas posturas epistemológicas de los participantes indagados en la investigación, responden y son dependientes de sus creencias religiosas. Paz y otros analizaron la fijación conceptual de la teoría evolutiva en estudiantes y maestros de primaria y secundaria de México, concluyendo que la formación de maestros es deficiente en este aspecto (1999 en Peñaloza y Mosquera, 2014:5). Además Cortés en el año 2000, encuentra que los maestros no dan un tratamiento epistemológico adecuado a los temas que tratan o mantienen errores conceptuales importantes (Campos et al., 2003: 93).

## **Explicaciones de los estudiantes respecto a la evolución**

Por otra parte, aunque las indagaciones sobre ideas previas son trabajos comunes en la investigación sobre la enseñanza de la evolución, el tema tiene una profunda relevancia debido a que se considera que el aprendizaje significativo sólo ocurre cuando la nueva información se enlaza con los conceptos pertinentes que existen ya en la estructura cognoscitiva del que aprende, por lo tanto, las experiencias previas son fundamentales y determinan el grado de significatividad de un concepto (Novak, 1978 en Guillen Rodríguez F., 1997:140). También hay que considerar que las creencias de los estudiantes están profundamente arraigadas y es improbable que cambien en un corto período de tiempo. (Araujo y Roa, 2011: 28).

Así lo revelan estudios como los de Jiménez Aleixandre en donde se revisaron 17 textos publicados entre 1975 y 1988, y se encontró que la enseñanza tradicional de la biología no modifica sustancialmente las concepciones alternativas de los estudiantes; más aún es difícil lograr un aprendizaje significativo y un cambio conceptual que transforme las ideas lamarckianas que poseen amplios sectores antes de iniciar el estudio de la evolución (Araujo y Roa, 2011: 24). Incluso Juan José Fernández y Vicente San José (2007) indagan sobre la permanencia de ideas alternativas sobre evolución biológica en la población culta no especializada en España, y sus resultados no muestran descenso en los porcentajes de ideas alternativas en estudiantes universitarios respecto de los de secundaria; por lo que descartan la hipótesis de que la maduración podría incrementar las capacidades metacognitivas requeridas para detectar inconsistencias en las representaciones mentales sobre el tema, y que las ideas alternativas quedan en la memoria de largo plazo de la población adulta.

Muchas investigaciones muestran que las ideas alternativas son persistentes, útiles y varios valores se hallan comprometidos en ellas. A pesar de que no se correspondan con el conocimiento científico y puedan interpretarse como ideas erróneas, se trata de un saber compartido socialmente que nos dice quiénes somos,

cuánto valemos y qué tenemos que creer. (Meinardi 2010:132). Como lo señala Hernández Rodríguez “...las explicaciones evolutivas de los estudiantes representan una compleja mezcla de ideas relacionadas con la evolución lamarckiana, teoría darwiniana y razonamiento teleológico, que son altamente resistentes al cambio (Settlage, 1996; Angseeing, 1978)” (2002:89).

Brumby (1979) indica que sólo el 18% de estudiantes universitarios de primer ingreso lograron aplicar consistentemente el concepto de selección natural a problemas ambientales, a la vez que el 60% no lograron identificar conceptos como selección natural o evolución, y tuvieron problemas con los de adaptación, el origen de las mutaciones y las leyes de la herencia. El mismo autor, en otro estudio (1984), mostró que la mayoría de los estudiantes dejan la escuela creyendo que el cambio evolutivo ocurre como resultado de la necesidad; también extrapolan los cambios que ocurren en el lapso de la vida de un individuo para explicar lo que ocurre en varias generaciones (en Hernández Rodríguez, 2002: 89-90).

La preexistencia de este tipo de ideas (“por necesidad”) actúa como barrera en el aprendizaje formal de la teoría evolutiva; son errores que no son simples de corregir, ya que el patrón completo de razonamiento es inadecuado. Es decir, parten de la observación de que los individuos son capaces de cambiar sus características durante su vida, y afirman que éstas son transmitidas a su descendencia (Hernández Rodríguez, 2002:90).

Por ejemplo K. Kampourakis y V. Zogza (2008) estudian las explicaciones intuitivas de estudiantes entre 14-15 años, acerca de los procesos evolutivos, y concluyen que las explicaciones que dan son finalistas y antropomorfas; otros autores que encuentran resultados similares son Bishop y Anderson (1990).

En estas explicaciones destacan la falta de conocimiento de los conceptos evolutivos importantes, como la ascendencia común y la selección natural, además, muchos estudiantes explican el origen de los rasgos como el resultado de la evolución a través de la necesidad por un cambio intencional o adaptaciones diseñadas cuidadosamente. Las causas finales fueron la base para la mayoría de las explicaciones de los estudiantes en vez de la evolución, y en muchos casos los estudiantes proporcionan diferentes explicaciones para el mismo proceso para tareas con contenido diferente (Kampourakis y Zogza, 2008).

En un estudio en el que se pretendió evaluar cómo muchos niños basaban su categorización de objetos en características aparentes (Keil, 1989: 197–215, en Kampourakis, 2015: 86), se encontró que ellos creían que los animales retenían sus propiedades esenciales a pesar de las transformaciones que sufrieran. El estudio consistió en presentarles a alumnos de jardín de niños, segundo y cuarto grado las siguientes transformaciones: animales hacia animales (por ejemplo caballos en cebras), plantas hacia plantas (como rosas en margaritas), objetos naturales sin vida en objetos naturales sin vida (como sal en arena), aparatos en aparatos (como un puente en una mesa), animales en plantas (como ardillas en musgos), máquinas en animales (como un ratón de juguete en uno real), y animales en objetos naturales sin vida (como peces en piedras).

Los niños de todos los grados escolares respondieron que el tipo se conserva en animales al pasar hacia objetos naturales no vivos (por ejemplo, a pesar de que un hipopótamo parecía una gran roca, no se había convertido en una), y en los animales en la transformación a plantas (por ejemplo, a pesar de que una ardilla parecía una planta de musgo, no se había convertido en una), no obstante las similitudes aparentes. También pensaban que el tipo se conserva en la máquina en las transformaciones hacia los animales (si la entidad tenía una máquina en el interior, que no podía ser un animal real, por ejemplo, un juguete de pájaro no podría convertirse en un pájaro de verdad). Actualmente, existe una fuerte evidencia acerca

de que los niños piensan en términos de esencias subyacentes incambiables acerca de los organismos (Kampourakis, 2015: 86).

Ciertamente un criterio esencialista opone obstáculos al entendimiento de la evolución, Gelman y Rhodes (2012) han sugerido que al menos hay cuatro formas en las que sucede esto: (1) el supuesto de que las categorías son estables e inmutables está en conflicto con la idea de que las especies pueden evolucionar y cambiar con el tiempo; (2) la tendencia a acentuar los límites de las categorías, hace que sea difícil de entender que dos especies pueden tener un ancestro común; (3) el esencialismo puede hacer que la gente subestime la variación dentro de una categoría y así hacer que sea difícil para ellos entender cómo la selección natural, que requiere variación, opera; y (4) el esencialismo refuerza un enfoque en las causas inherentes dentro de los individuos, más que en las características de una población, y esto lleva a una mala interpretación de la evolución (Kampourakis, 2015: 89).

Algunos ejemplos de malas interpretaciones del proceso evolutivo los muestra Sánchez Mora (2000: 15) en su estudio con alumnos de licenciatura en Biología, cuando encuentra que ellos ven la evolución como un proceso que moldea y define a la especie como un todo, y pueden afirmar que los chitas (todos) se vieron en la necesidad de correr más rápido para alcanzar a sus presas y que sus músculos y huesos se adaptaron gradualmente a esta función. También atribuyen la progresión gradual evolutiva a cambios graduales en los caracteres que se van mejorando o empeorando de una generación a otra, por ejemplo, pueden afirmar que los animales que viven en la obscuridad heredan sus genes con pérdida gradual de la vista a través de varias generaciones hasta que terminan siendo ciegos (Sánchez Mora, 2000: 16).

Uno de los desafíos fundamentales de la educación científica “constructivista” es permitir que los estudiantes superen los obstáculos epistemológicos para su aprendizaje. La noción de obstáculo está inspirada en las ideas del filósofo francés Gaston Bachelard, publicadas en su libro *La formación del espíritu científico* de 1938, y es uno de los conceptos más importantes en la didáctica de las ciencias naturales actualmente.

Para Bachelard (1982) los obstáculos epistemológicos se refieren a las condiciones psicológicas que impiden evolucionar al espíritu científico en formación, no a los elementos externos que intervienen en el proceso del conocimiento científico, como podría ser la complejidad o la dificultad para captar un nuevo fenómeno. Para Samuel Johsua y Dupin (2005: 62 en González-Galli, 2011:173), el concepto de obstáculo epistemológico “debe comprenderse como el efecto limitativo de un sistema de conceptos sobre el desarrollo del pensamiento”. El mismo Bachelard también empleó este concepto para entender las dificultades que se verifican en el plano individual en el proceso de aprendizaje.

Por lo tanto, para el que aprende, estos obstáculos son internos e imposibles de evitar, ya que aparecen como un rasgo intrínseco del acto de conocer, como dice Bachelard: “Es en el acto mismo de conocer, íntimamente, donde aparecen por una especie de necesidad funcional, los entorpecimientos y confusiones.” (1985). De tal forma que no pueden evitarse, aunque sí se pueden identificar y derribar para llegar a formas más cercanas al pensamiento científico.

Si bien, el obstáculo no es la ignorancia, sino un conocimiento positivo que en otras circunstancias, funcionaría bastante bien como una herramienta; es lo que se sabe, y como ya se sabe, origina una inercia que dificulta el proceso de construcción de un nuevo saber; aunque está en la naturaleza de un obstáculo epistemológico ser confuso y polimorfo (Bachelard, 1985: 24).

El concepto de obstáculo en la didáctica de las ciencias, se fundamenta en la propuesta de Bachelard, pero tiene matices peculiares que vale la pena señalar. Jean Pierre Astolfi es uno de los principales autores que han investigado el tema, y utiliza el término “obstáculo” de distintas formas; en ocasiones se ha referido a un concepto lingüístico, o a un procedimiento implementado por el docente; mientras que otros investigadores hacen referencia a una amplia gama de factores que pueden dificultar el aprendizaje.

Sin embargo, en este trabajo, se seguirá el criterio de Leonardo González-Galli (2011; 186) y se considerará un *obstáculo como un modo de pensamiento, transversal y funcional, que compete, desde el punto de vista explicativo, con el modelo científico a enseñar*. Por lo tanto, se considerará que los obstáculos son modos de pensamiento propios de, e internos al sujeto que aprende.

Una buena caracterización de lo que es un obstáculo, la ofrece Jean Pierre Astolfi (1999: 34) mencionando seis características fundamentales que poseen y se enlistan a continuación:

1. Interioridad. Como algo interno, algo constitutivo del acto de conocer.
2. Facilidad. Es una facilidad que la mente se procura, una comodidad intelectual.
3. Positividad. Se trata de alguna forma de saber, no es una ausencia de conocimiento.
4. Ambigüedad. El obstáculo tiene estas dos facetas, mientras que se usa como herramienta para el aprendizaje, ocasiona múltiples errores.
5. Polimorfismo. Los obstáculos son transversales, a menudo se relacionan con varios contenidos. También presentan distintas facetas, ya que aparte de lo racional, pueden incluir dimensiones afectivas, emocionales o míticas.
6. Recurrencia. Para superarse o identificarse se requieren de procesos metacognitivos.



Por lo tanto, no cualquier dificultad que se presente en la enseñanza o el aprendizaje puede considerarse como un “obstáculo epistemológico”, ni siquiera cualquier forma de pensamiento. Si examinamos la relación entre los conceptos de obstáculo, con el de concepción, este último aparece vinculado a cada contexto nocional particular, por ejemplo fuerzas, corriente eléctrica, respiración o reproducción humana (Astolfi y Peterfalvi, 1993 :105).

Pero además, existe una discrepancia en el conocimiento académico, la concepción es el contrapunto del proyecto didáctico. El docente está interesado porque ocupa el mismo "nicho ecológico" que el conocimiento científico del que apunta la adquisición, es decir, la concepción se opone al objetivo (Astolfi y Peterfalvi, 1993 :106).

Pero, al mismo tiempo, estas concepciones tienen un sentido de explicación funcional para el estudiante. Ellas se corresponden con un sistema de interpretación coherente de los fenómenos científicos que ha construido durante mucho tiempo y que para él "funciona". Debido a esto, las concepciones se resisten a la enseñanza y persisten durante la escolarización (Astolfi y Peterfalvi, 1993 :106).

Es claro que la noción de obstáculo tiene relación con las concepciones de los estudiantes, pero puede describirse como más fuerte, tiene un carácter más general y transversal que la concepción. Es lo que, en profundidad, lo explica y lo estabiliza (como un núcleo). Tal parece que hay una cierta necesidad de los estudiantes, de mantener este sistema de pensamiento, y el beneficio de abandonar el obstáculo le parece aún más incierto que estas concepciones que finalmente no están aisladas, sino que están constituidas en una red cuyos diferentes elementos se apoyan y se refuerzan mutuamente (Astolfi y Peterfalvi, 1993: 106, 111).

Por lo tanto, podemos encontrar que varias nociones sin un vínculo aparente, se pueden enlazar al mismo obstáculo; es decir un único obstáculo puede subyacer a varias concepciones e inversamente, distintos obstáculos pueden converger en una concepción (Astolfi y Peterfalvi, 1993 :106; González-Galli, 2011:181).

Laurence Viennot (En Astolfi y Peterfalvi, 1993: 106) ha mostrado, por ejemplo, cómo funciona el mismo arquetipo de razonamiento (razonamiento causal lineal), en la dinámica (concepciones relacionadas con las fuerzas), en la electrocinética (concepciones de la corriente eléctrica). Otros autores han identificado este razonamiento en la ecología, la química, y Leonardo González-Galli (2011) también lo encuentra en el aprendizaje del modelo de evolución por variación y selección.

Para Closset (1989, en González-Galli, 2011) el razonamiento causal lineal es *la transformación en una secuencia cronológica de lo que sólo depende de relaciones lógicas temporales*. Este "razonamiento" consiste en transformar en una sucesión cronológica un conjunto de relaciones puramente lógicas, difíciles de aprehender como un todo simultáneo.

Para M. A. Pérez Morales, G. Gómez, y S. Glorisney, (2015), *el razonamiento causal lineal* es común en los niños para explicar cambios, ellos postulan una causa que produce una cadena de efectos, como si de una secuencia dependiente del tiempo se tratase. Estas explicaciones tienen direcciones preferidas en las cadenas de hechos; por ejemplo cuando explican el fenómeno que ocurre cuando se calienta un recipiente. Ellos creen que el proceso se desarrolla en una dirección, partiendo de una fuente suministradora de calor hasta un receptor; sin embargo, desde un punto de vista científico, hay dos sistemas que interactúan, uno de los cuales gana energía mientras el otro la pierde.

Pero además, existe una discrepancia en el conocimiento académico, la concepción es el contrapunto del proyecto didáctico. El docente está interesado porque ocupa el mismo "nicho ecológico" que el conocimiento científico del que apunta la adquisición, es decir, la concepción se opone al objetivo

Sin embargo, para algunos autores la teleología es el obstáculo epistemológico<sup>8</sup> más importante para la enseñanza del modelo darwiniano y para el entendimiento de la evolución (Gonzalez-Galli, 2011; Kampourakis, 2015:92), son numerosas las investigaciones que han señalado la persistencia, a través de la instrucción, no únicamente de diversas concepciones alternativas en los estudiantes, sino también del carácter teleológico de muchas de ellas. También es común que se acepte que la teleología constituye un rasgo puramente negativo de las concepciones alternativas de los estudiantes, a la par de que se admite que la teoría sintética de la evolución no es teleológica en ningún sentido significativo (González-Galli, 2011:41). Creo que es conveniente, que al menos se reconozca, el estado problemático de la teleología en la Biología, y que la explicación teleológica tiene una función heurística, tanto en la ciencia como en el ámbito instruccional; de aquí que sea relevante reconocer el valor heurístico del pensamiento teleológico. También es importante distinguir entre las explicaciones teleológicas basadas en el diseño y aquellas fundadas en la selección natural, la afirmación de que todas las explicaciones teleológicas se refieren por definición al diseño es incorrecta. Dependiendo de lo que se quiera esclarecer puede ser el tipo explicación; por ejemplo si se trata de algún artefacto, puede ser el diseño, pero si se trata del rasgo de un organismo posiblemente sea la selección natural o la adaptación (Kampourakis, 2013:446-448).

Para remontar la teleología sobre todo selectiva, Kampourakis y Zogza (2008) proponen una secuencia instruccional que incluye numerosos conceptos (entre ellos: tipos de células, estructura celular, reproducción celular, población, ecosistema, gen y cromosoma); además de hacer hincapié en las nociones que comprenden factores

contingentes como los cambios ambientales y la mutación. L. González-Galli ha sugerido reemplazar las expresiones “para” y “están destinados” por la conjunción “y” o “lo que resulta en” (2011:35-38).

El mismo González-Galli al analizar la teleología, señala que los niños pequeños tienden a explicar todos los fenómenos naturales, (incluidos los biológicos) en términos teleológicos; mientras que los jóvenes-adultos aplican este pensamiento de manera más restringida aunque también incluyen el dominio biológico. Probablemente, estos modos de pensamiento sean en gran medida innatos –tienen relativa independencia de las experiencias de los sujetos—, universales (no están ligados a un entorno cultural particular), y funcionales (guían eficazmente el razonamiento en innumerables circunstancias cotidianas) (2011, 469-470).

No obstante para lograr un cambio conceptual es preciso que los patrones de razonamiento intuitivo sean identificados, explicitados y discutidos con los estudiantes. Por ejemplo, se ha descubierto que algunas frases empleadas por los profesores de enseñanza media, contribuyen a desarrollar confusiones en los estudiantes como “la supervivencia del más apto” ya que ha sido interpretada de distintas formas dependiendo del contexto. Y así, la mayoría de los estudiantes ingresan a los cursos creyendo que tienen una comprensión básica del proceso de evolución por selección natural, pero sus explicaciones del cómo y por qué ocurre, distan mucho de las explicaciones científicas (Hernández Rodríguez, 2002:92-93). Por lo tanto, el cambio conceptual en evolución consiste en una reestructuración de las explicaciones intuitivas –explicaciones de diseño teleológico y esencialista—, hacia una nueva explicación basada en la evolución (Kampourakis, 2014:96).

Fedro Guillen Rodríguez (1997: 158, 241) indica que de los hallazgos de muchos investigadores se concluye que los estudiantes comprenden que las plantas y animales han cambiado a lo largo del tiempo, pero la evolución en general no es comprendida cabalmente y muchas de sus ideas son erróneas. Este autor realizó un

estudio en un centro escolar privado laico de nuestro país, a 214 alumnos de secundaria y CCH (nivel bachillerato), y encontró que el 98% respondió que los animales y las plantas han cambiado en la medida en que transcurre el tiempo. “Los estudiantes piensan que estos cambios se van dando en las mismas características de manera gradual entre una generación y otra”. Las explicaciones científicamente válidas del por qué, fueron: 45% debido a que los animales y las plantas han cambiado por evolución, el 20% debido a que el ambiente cambia, y el 17% los organismos cambian para adaptarse al medio. Las razones científicamente válidas fueron un 84%, mientras que las no válidas un 5%, y no fundamentadas un 10%. También se encontró que los grados superiores responden acertadamente con mayor frecuencia que los primeros niveles; sin embargo la pregunta de cómo han evolucionado los seres vivos resultó la más difícil para los estudiantes, y sólo el 7% respondieron correctamente, más aún no se encontró relación entre el desempeño y el nivel educativo (Guillen Rodríguez, 1997:235 y siguientes). Si bien, Guillen encontró que existen confusiones y limitaciones conceptuales en el conocimiento evolutivo en secundaria, esta situación se remedia parcialmente en el nivel medio superior (Campos y Ruiz Gutiérrez, 1996: vii).

### **Nuevas temáticas**

Ahora bien, es relevante abordar la enseñanza de las ciencias, tanto desde el punto de vista cognoscitivo como el de su estructura epistemológica debido a que, como lo señalan Campos y Ruiz Gutiérrez, no es posible entender los procesos de acceso y organización lógico-conceptual durante el aprendizaje si no se consideran los problemas epistemológicos de lo que se enseña (1996: iv). Por tal motivo, en el presente estudio, se han señalado algunas de las modificaciones de la teoría evolutiva en los últimos años; particularmente las que involucran la variación y evolución genotípicas para dar cuenta de la fenotípica. Y se reconoce que se están objetando al menos parcialmente, algunos de sus pilares teóricos (Pigliucci y Müller, 2010), de tal forma que es legítimo cuestionarnos sobre las modificaciones que está teniendo, para posteriormente establecer qué contenidos es pertinente enseñar.

González Galli y Meinardi (2013: 220) han presentado diversas argumentaciones que conducen o no a la incorporación de dichas modificaciones en la enseñanza de la teoría evolutiva sobre todo en la escuela media; considerando que hay un acuerdo sobre la necesidad de que en la enseñanza secundaria obligatoria se garantice un sólido aprendizaje de los modelos y conceptos fundamentales de la biología evolutiva<sup>9</sup>. También se ha resaltado la oportunidad de acercarnos a los debates en la ciencia para ocuparnos en el ámbito educativo de una naturaleza de las ciencias menos dogmática de la que hoy presentamos (Folguera y González-Galli, 2012: 5).

La biología evolutiva, a pesar de ser una disciplina integradora ha ocupado espacios reducidos en los currícula de la enseñanza básica, media superior y superior, lo que resulta insuficiente para enseñar y aprender biología como lo consignan Ruiz Gutiérrez y colaboradores (2012:80). "La enseñanza y el aprendizaje de la biología evolutiva en el siglo XXI, enfrentan el reto de diseñar sistemas curriculares que permitan comprender las causas próximas que explican cómo los seres vivos funcionan, se constituyen, se reproducen, se comportan, y por qué funcionan como lo hacen y tienen la forma que efectivamente tienen" (Ruiz Gutiérrez et al., 2012:85), además de las causas últimas.

El mecanismo evolutivo más reconocido tanto dentro de los círculos académicos como educativos es la selección natural, al que también se agregan la migración, la deriva génica y la mutación. Estos mecanismos, según la teoría sintética de la evolución, no solo logran dar cuenta de los cambios en la microevolución (evolución de las poblaciones), sino también de la evolución en los niveles superiores al específico – la macroevolución. Si bien, esto último se ha debatido ampliamente, aún no están suficientemente claros los alcances de las modificaciones teóricas involucradas en las discusiones actuales (Folguera y González-Galli, 2012: 7).

---

<sup>9</sup> NAS. (2008). *The Role of Theory in Advancing 21st Century Biology: Catalyzing Transformative Research* [El rol de la teoría en la biología del siglo 21: catalizando investigación transformativa]. Washington, DC: National Academy Press.

Ciertamente el modelo de evolución por selección natural, tendrá un lugar central en la biología y se deberá considerar como un objeto de enseñanza prioritario (González Galli y Meinardi, 2013:221), pero desde la perspectiva de esta investigación, resulta insuficiente para la formación del biólogo, a la luz de los datos que arrojan disciplinas como la biología molecular o la evolucionaria del desarrollo. Los nuevos enfoques que se mencionan en el presente trabajo, son especialmente importantes debido a que afectan algunos de los supuestos fundamentales de la teoría sintética, por lo que aquí se coincide con Folguera y González-Galli (2012:15) en que los futuros biólogos deberían tener un mínimo acercamiento a estos temas, así como los futuros profesores de biología.

Por otra parte, para algunos autores como Dennett (1995 en González-Galli y Meinardi, 2013:222) la evolución por selección natural tiene un doble *explanandum* el origen de nuevas especies (especiación) y la adaptación. Con respecto a la adaptación, a pesar de la crítica al programa adaptacionista (Gould y Lewontin, 1979), la gran mayoría de los biólogos considera que éste es, quizá, el rasgo más conspicuo y distintivo de los seres vivos y demanda una explicación; y por el momento no existen modelos alternativos al de evolución por selección natural para explicarla (González Galli y Meinardi, 2013:222-223).

En cuanto al origen de nuevas especies tanto el denominado modelo de evolución por selección como el de equilibrio puntuado lo abordan de la forma que se describió anteriormente. Existe sin embargo, un proceso de suma importancia para el mundo vivo, y es la biodiversidad. También demanda una explicación, y ésta se encuentra mejor desarrollada por el equilibrio puntuado. Se hace necesario repensar los modelos que enseñamos. Indudablemente, la selección de contenidos no deberá únicamente obedecer a criterios disciplinarios, por ejemplo es conveniente considerar diversas prácticas sociales de preferencia, así como varios

aspectos del mundo que nos permiten pensar el modelo a enseñar, como por ejemplo la resistencia a los antibióticos (González Galli y Meinardi, 2013:222-223).

Las nuevas temáticas de la evolución no han sido consideradas adecuadamente, y así lo señalan Folguera y González-Galli como se lee a continuación:

Aunque no hemos hecho estudios sobre el tema y, hasta donde sabemos, no existen tales estudios, sugerimos, basándonos en nuestras experiencias y conocimientos personales, que las nuevas temáticas de biología evolutiva... son en gran medida ignoradas en la formación docente e, incluso, en la formación de los futuros biólogos (2012:15).

Como lo relatan los mismos autores, los únicos modelos que pueden encontrarse en algunos libros de texto para enseñanza secundaria<sup>10</sup> son el modelo del equilibrio puntuado y la endosimbiosis (Folguera y González-Galli, 2012:14). En el mismo sentido se pronuncian Ruiz Gutiérrez y colaboradores, al señalar que las investigaciones sobre las dificultades de enseñar y aprender biología funcional son escasas (2012: 83).

Por su parte Alba Imhof y Federico Giri (2008:5-6), realizaron un estudio donde encontraron que únicamente el 11% de los alumnos encuestados reconoció al equilibrio puntuado como una teoría. Incluso luego de haber cursado la asignatura correspondiente, identificaron como la misma teoría al saltacionismo y al equilibrio puntuado. Esta equivalencia no es correcta ya que ambas teorías remiten a una dinámica y a un proceso de cambio diferentes. En este estudio, no se hace evidente el manejo de otras teorías evolutivas por los estudiantes; tampoco se registra un tratamiento equitativo de los temas evolutivos en los libros de texto que analizaron, puesto que básicamente se abordan la teoría de la evolución presentada por Darwin y la síntesis evolutiva.

---

<sup>10</sup> Por ejemplo en el caso de Argentina



¿Pero, cuál es el camino que recorren los conocimientos desde los laboratorios de investigación a las aulas? Si consideramos que la “ciencia erudita” es distinta de la “ciencia escolar” –porque difieren en fines e intereses, debemos aceptar que la primera pasa por una serie de transformaciones para llegar a la segunda. Este camino suele conocerse como la transposición didáctica (Meinardi, 2010). Y esto ocurre frecuentemente en dos etapas, en la primera algunos científicos cambian el “saber sabio” en un “saber por enseñar”; en la siguiente los profesores lo modifican a un “saber enseñado” (Folguera y González-Galli, 2012:14).

Indudablemente se requiere de mucho trabajo epistemológico en relación a la “teoría evolutiva”, a fin de alcanzar una completa y adecuada transposición didáctica; para posteriormente enseñarla de una forma apropiada y útil a los biólogos, a los maestros de biología, y a todas las personas que se relacionen con el conocimiento científico de las ciencias naturales (Folguera y González-Galli, 2012:10).

## **METODOLOGÍA**

En este estudio la aproximación metodológica fue del “modelo de enfoque dominante”, debido a que el diseño es principalmente cualitativo (respecto a la recolección de información y su tratamiento), pero conserva algunos elementos cuantitativos como la representación de algunos datos y la pretensión de generalizar los resultados únicamente en determinados contextos. No se busca universalizar los resultados, solo que sirvan como una guía útil para la indagación de otras realidades sociales.

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

El procedimiento general de la investigación fue el siguiente: en primer término se hicieron observaciones no participantes y participantes (grabaciones de audio y video) en las clases de Evolución I de la Facultad de Ciencias y se entrevistó a académicos de más de 10 años de experiencia docente, en la misma Facultad, en la FES Iztacala y FES Zaragoza para explorar el panorama de la enseñanza de la teoría del equilibrio en la UNAM. De manera paralela se llevó a cabo una indagación bibliográfica de la teoría del equilibrio puntuado, comparándola con la teoría sintética, particularmente con la dimensión gradualista.

Con base en la información recabada durante estas etapas, se localizaron varios conceptos centrales en la enseñanza de la teoría y se formuló un cuestionario semiestructurado de respuestas abiertas, dada la escasez de información encontrada para esta temática en nuestro país, y para permitir a los estudiantes expresar sus propios puntos de vista. El cuestionario<sup>1</sup> estuvo orientado a encontrar las concepciones de los estudiantes de la licenciatura en biología respecto a procesos que aborda la macroevolución, para finalmente precisar si son de tipo sintetista o puntualista. Con todo lo anterior, se elaboró una intervención pedagógica

---

<sup>1</sup> El cuestionario se encuentra el Apéndice 2.

con base a la propuesta PDHI que se llevó a cabo en un grupo de tercer semestre de FES Zaragoza, y se comparó con otro grupo del mismo semestre y facultad considerado como control; en ambos casos se aplicó un cuestionario antes y después del tratamiento del tema.

### **Poblaciones participantes**

La población a la cual se le aplicó el cuestionario, está conformada por estudiantes de licenciatura en Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, se incluyeron las tres facultades que imparten Biología, es decir la Facultad de Ciencias (FC), la de Estudios Superiores Iztacala (FESI) y la de Estudios Superiores Zaragoza (FESZ). Los grupos de estudio se encontraban cursando primero, segundo, tercero o sexto semestres de la carrera (ver Apéndice 3).

En todas estas facultades se considera la teoría sintética y la teoría del equilibrio puntuado en sus programas de estudio, en la FES Zaragoza se revisa en la asignatura *Biología Evolutiva* de tercer semestre, en la FES Iztacala en *Evolución y Paleontología* de sexto semestre, y en la Facultad de Ciencias en *Evolución I* en sexto semestre y *Paleobiología* de cuarto semestre, todas estas asignaturas son obligatorias para los estudiantes.

Para llevar a cabo la intervención se eligieron dos grupos de tercer semestre de la FES Zaragoza que cursaban la asignatura de *Biología Evolutiva* (FESZ 1301, FESZ 1351); en el primer grupo se revisó el tema de equilibrio puntuado mediante el programa PDHI para la temática de equilibrio puntuado, en el segundo se hizo una exposición tipo conferencia del profesor, a ambos se les aplicó un cuestionario antes de iniciar el curso, y otro dos semanas después de tratar el tema en el aula.

## Obtención de datos y procesamiento

En los cuestionarios se abordaron aspectos importantes del equilibrio puntuado y son: la consideración del registro fósil, la explicación de la estasis morfológica, la frecuencia de la estasis y el concepto de equilibrio puntuado. Las preguntas junto con los aspectos de la teoría a que se vinculan, se presentan a continuación.

### Instrumento de evaluación Cuestionario

<b>Categorías de la teoría</b>	<b>Pregunta</b>
1. Interpretación del registro fósil	1. Al revisar el registro de fósiles en una localidad, es posible que no se observe cómo una especie va cambiando gradualmente en otra, esto puede deberse a _____
2. Explicación de la estasis	2. Algunas especies como las cucarachas han experimentado pocos cambios morfológicos durante millones de años, esto se puede deber a _____.
3. Frecuencia de la estasis	3. ¿Es común que las especies animales permanezcan morfológicamente estáticas o casi, por miles de años?
4. Concepto de equilibrio puntuado	4. La teoría del Equilibrio puntuado postula que _____

Una vez aplicados los cuestionarios se procesaron mediante cinco pasos que se detallan en seguida.

1. Se elaboraron tablas por pregunta, registrando las claves y respuestas de cada estudiante.

Ejemplo: Pregunta 1. Interpretación del registro fósil.

<b>Clave alumno</b> <b>FESZ 1201</b>	<b>Pregunta</b> Al revisar el registro de fósiles de una localidad, es posible que no se observe como una especie ha cambiado gradualmente en otra, esto puede deberse a <b>Respuesta</b>
01	La carencia de algunos especímenes y el deterioro de los materiales fósiles.
02	Que algunas especies no cambian gradualmente su evolución, o por confusión no pueden identificarlas.
03	Que ha funcionado como especie, o porque los fósiles sean alóctonos.

2. Se agruparon las respuestas por similitudes para obtener las consideraciones de los estudiantes, como se ejemplifica a continuación:

<b>CLAVE DEL ALUMNO</b>	<b>2 FALTA DE FÓSILES EN EL REGISTRO/ DIFICULTADES EN LOS PROCESOS DE FOSILIZACIÓN</b>
FESZ 1201	Respuesta
01	<b>La carencia de algunos especímenes y</b> el deterioro de los materiales fósiles.
05	<b>la falta de fósiles cadena</b> o a degradación de los mismos.
12	Que el medio no ha cambiado desde entonces, <b>o que no existan registros fósiles</b> , o que su cambio no haya afectado la morfología.

3. Una vez obtenidos estos agrupamientos son etiquetados como categorías intermedias (que se apegan en lo posible a las contestaciones).

4. A cada categoría intermedia se les fue asignando a la clase “gradualista”, “no gradualista” o “equilibrio puntuado” según fuera el caso para construir las categorías finales.

5 Para terminar se graficaron los datos obteniendo histogramas de frecuencia y gráficas porcentuales para los diferentes grupos y tratamientos.

En la pregunta del registro fósil, las categorías intermedias fueron analizadas y agrupadas a su vez en categorías etiquetadas como semifinales y en este trabajo se proponen como formas comunes de abordaje de los alumnos en relación a las cuestiones planteadas. En el caso de la estasis, no se postularon categorías semifinales.

Acerca de la pregunta sobre el equilibrio puntuado se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

A. Se emplearon cuatro criterios de evaluación: respuesta correcta, respuesta parcialmente correcta, respuesta incorrecta y sin respuesta.

B. Se consideró como respuesta correcta, aquella que es congruente con la teoría del equilibrio, por ejemplo con lo expresado por Gould, (2004:797), "... el equilibrio puntuado sostiene que la gran mayoría de especies, como evidencian sus historias anatómicas y geográficas en el registro fósil, surgen en momentos geológicos (puntuaciones) y luego persisten en estasis durante toda su vida geológica", o lo señalado en Futuyma (2005: 551) "Un patrón de cambio evolutivo rápido de un linaje separado por largos períodos de poco cambio; también una hipótesis que intenta explicar tal patrón, por lo cual el cambio fenotípico transcurre rápidamente en pequeñas poblaciones, conjuntamente con el aislamiento reproductivo", o en Fontdevila y Moya, (2003:415) "Hipótesis que sostiene que las tasas de evolución durante la especiación son mucho mayores que entre especiaciones".

C. La respuesta parcialmente correcta es aquella que presenta uno o más elementos de la teoría, pero no están enlazados o están incompletos, o consignan un elemento equivocado.

D. Respecto a la respuesta incorrecta, se tomó a aquellas que no consignan algún elemento congruente con la teoría, o establecen que no saben.

E. Así mismo, se contabilizó el número de alumnos que dejaron sin responder esta pregunta.

## PROPUESTA DIDÁCTICA

### Diseño de la propuesta didáctica PDHI

Se elaboró el plan didáctico del tema que aborda la teoría del equilibrio puntuado fundamentado en el sistema PDHI. El plan tiene cuatro columnas –búsqueda, bases, procedimiento y resultados— que integran habilidades cognitivas organizadoras y que se llevaron a efecto en el aula.

Propuesta didáctica basada en PDHI (equilibrio puntuado):

BÚSQUEDA	BASES	PROCEDIMIENTO	RESULTADO
Introducción y preconceptos		Se solicita a los alumnos que respondan a preguntas como la siguiente:  1. Qué es la macroevolución 2. ¿Qué procesos involucra? 3. ¿Cómo se origina? 4. ¿Cómo se relacionan la micro y la macroevolución?	
	Descripción de las teorías, principales aspectos, conceptos clave e implicaciones.	El profesor realiza una exposición del tema.	
	Nivel explicativo y ejemplificativo de la macroevolución, desde la teoría sintética y del Equilibrio Puntuado.	Exposición del profesor, y a continuación se procede de la siguiente manera:  Actividad "Línea del tiempo". Los alumnos elaborarán una línea de tiempo en cartulina. Con base en el patrón de originación, extinción, duración y traslape de las especies argumentar si se ajusta más a un modelo gradualista o a uno puntualista, y dar razones para ello. Exposición ante el	Una línea del tiempo de las especies elaborada en cartulina.  <b>HABILIDADES</b> Análisis, Interpretación, y

	grupo.	evaluación.
	<p>Actividad “Análisis de evidencias morfológicas. Caracteres clave”.</p> <p>Se solicitó que interpretaran las gráficas y figuras entregadas, y después que expusieran su interpretación.</p>	<p>Ordenamiento e interpretación de esquemas.</p> <p><b>HABILIDADES</b> Análisis, Interpretación, y evaluación.</p>
	<p>Actividad “Filogenia de Homínidos”. Se solicitó a los alumnos que propusieran una filogenia de homínidos, la que a su vez, explicarán en que se fundamentaron para hacerla y darán razón de los probables procesos evolutivos generales que la produjeron.</p>	<p>Elaboración de un cartel con la filogenia.</p> <p><b>HABILIDADES</b> Análisis, interpretación, inferencia y explicación</p>
		Se hace el cierre del tema.

Las siguientes son una serie de actividades conformadas para desarrollar en el aula, y que se corresponden con las secciones de procedimientos y resultados de la propuesta PDHI. Todas ellas fueron realizadas en los salones de clase, y se presentan más ampliamente a fin de resaltar las habilidades que se pretendió alcanzar.

## Secuencia de actividades

### Antecedentes

Los alumnos están inscritos en el tercer semestre de la licenciatura en biología y en relación a los precedentes académicos con que cuentan, ellos ya cursaron las asignaturas de *Ciencias de la Tierra, Historia y Filosofía de la Biología* y *Genética* que les permiten adquirir conocimientos importantes para el entendimiento de la macroevolución. Cabe aclarar que no habían tratado el tema de macroevolución formalmente en la Facultad. Actualmente están cursando la asignatura denominada *Biología Evolutiva* y ya se abordó el proceso microevolutivo, y la especiación. Antes de iniciar la sesión se les proporcionó información del tema que debieron de leer.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Sour y Quiroz (2010)



## Primera sesión

### 15 min. Cuestionario

**15 min.** Se lleva a cabo una lluvia de ideas acerca de la macroevolución, el registro fósil, las velocidades y patrones de cambio de los linajes.

**1 hora 30 min.** Exposición del profesor acerca de la macroevolución, tanto de la perspectiva sintética como de la puntualista. Los niveles fueron fundamentalmente descriptivo y ejemplificativo.

## Segunda sesión

**45 min.** Exposición del profesor acerca de la macroevolución, desde la teoría sintética y la del equilibrio puntuado, aquí también se aborda el nivel explicativo.

**1 hora.** Actividades de los alumnos que son la línea del tiempo, evolución de caracteres, y filogenia humana. (30 de trabajo en equipo y 10 de exposición por tema)

**15 min.** Cierre del tema.

En total se emplearon dos sesiones cuya duración fue de 4 horas de clase y 1 hora de lectura fuera de ella.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	RESULTADO
<p><b>Línea del tiempo</b></p> <p>Se organiza a los alumnos en equipos.</p> <p>Uno de los cuales debería hacer una línea de tiempo en cartulina, en orden de originación de las especies, para una familia determinada (por ejemplo los <i>Hominidae</i>).</p> <p><b>Puntos a observar:</b></p> <p>Orden temporal en el que se originan las especies.</p> <p>Duración y extinción de las especies.</p> <p>Especies que se traslapan y posible duración de éste.</p>	<p>Se espera que elaboren la línea del tiempo de las especies.</p> <p>Los alumnos explicarán ante todo el grupo la línea temporal construida, y argumentarán la posición puntualista o gradualista que mejor explique los datos disponibles.</p> <p><b>HABILIDADES</b></p> <p>Se pretende desarrollar la habilidad de <b>ANÁLISIS</b> e <b>INTERPRETACIÓN</b> que incluye la <u>categorización</u>, la <u>decodificación</u> de <u>significados</u> y su <u>clarificación</u>.</p> <p>Para llevar a cabo las actividades requeridas y llegar a una interpretación del</p>

<p><b>Actividades:</b></p> <p>Los alumnos tendrán a su disposición material como cartulina, papel bond, plumones de colores, cinta adhesiva y esquemas con información sobre las especies a trabajar.<sup>3</sup></p> <p>Identificar cual es el patrón de aparición de las especies consideradas en el registro fósil, y el de desaparición.</p> <p>Así como la longevidad estimada de cada especie y la duración de los traslapes entre éstas.</p> <p>Con base en el patrón de originación, extinción, duración y traslape de las especies argumentar si se ajusta más a un modelo gradualista o a uno puntualista, y dar razones para ello.</p>	<p>esquema, los alumnos deberán realizar lo siguiente: Elaborar tentativamente, una <i>forma de organizar</i> la información de especies y tiempos para elaborar la línea. A continuación detectar, prestar atención y describir el contenido informativo expresado en el esquema que construyeron, por lo que tendrán que hacer explícitos los significados de las figuras, haciendo uso de descripciones o si se desea, analogías</p> <p>Otra de las habilidades que se desarrollaría durante esta actividad es la de <b>EVALUACIÓN</b>, que incluye valorar enunciados y valorar argumentos.</p> <p>Para tal proceso, se pretende que los alumnos determinen la credibilidad de las teorías que explican o describen la línea del tiempo que elaboraron.</p> <p>Para esto, los alumnos deben determinar la posibilidad de verdad o falsedad de las afirmaciones de cada teoría (EP y TSE), basados en lo que conocen y aprecian de la figura. Además se deberá juzgar si los argumentos de alguna teoría, son pertinentes o aplicables para la situación que se está discutiendo.</p>
<p><b>Análisis de evidencias morfológicas. Caracteres clave.</b></p> <p>Se entregó a otro de los equipos tres figuras<sup>4</sup> que representan el cambio en caracteres clave de las especies de homínidos a lo largo del tiempo.</p>	<p>Los alumnos informarán ante todo el grupo su forma de interpretar los datos y argumentarán la posición puntualista o gradualista que mejor los explique.</p>

<sup>3</sup> De antemano los alumnos habrán leído material al respecto. Para este caso la lectura fue Sour y Quiroz (2010).

<sup>4</sup> Las figuras que se les entregó fueron:

- 1 "El aumento del tamaño del cerebro" Figura 13.2 (Sampedro, 2004:165).
- 2 "Extensión aproximada de homínidos en el registro. Tamaño cerebral, dientes, bipedalismo. (Futuyma, 2005:80).
- 3 "Pesos estimados y volúmenes de homínidos fósiles". (Futuyma, 2005:80)

<p>Se solicitó que interpretaran las gráficas y figuras entregadas.</p>	<p><b>HABILIDADES</b></p> <p>Se pretende desarrollar la habilidad de <b>ANÁLISIS</b>, que considera tres etapas; <u>el examen de ideas</u>, <u>la identificación de argumentos</u> y <u>el análisis de argumentos</u>.</p> <p>También se pretende desarrollar la habilidad de <b>INTERPRETACIÓN</b> que incluye la <u>categorización</u>, la <u>decodificación de significados</u> y su <u>clarificación</u>.</p> <p>Los alumnos deben comprender en forma apropiada las categorías, distinciones y marcos de referencia de cada gráfica.</p> <p>Además detectar, prestar atención y describir, el contenido informativo, los puntos de vista, procedimientos o relaciones de inferencia expresados en los gráficos. De la misma forma aclarar lo que significa cada gráfica, eliminando ambigüedad o confusión, utilizando descripciones adecuadas.</p> <p><b>EXPLICACIÓN</b> ya que deben ordenar y comunicar los resultados de su razonamiento, en términos de sus evidencias (cronológicas, biogeográficas, pero sobre todo morfológicas), y presentar su razonamiento en una forma clara y persuasiva.</p>
<p><b>Filogenia de Homínidos<sup>5</sup></b></p> <p>Repartir al grupo en dos equipos, en los cuales, los alumnos propondrán y discutirán una filogenia de homínidos, la que a su vez, explicarán y darán razón de los probables procesos evolutivos generales que la produjeron (apegándose a la TSE o al EP, por ejemplo procesos anagenéticos o cladogenéticos, y tendencias evolutivas de algunos caracteres).</p>	<p>Elaborarán en papel bond o en la pizarra una filogenia de homínidos.</p> <p>Cada equipo expondrá los resultados a los que llegaron y explicará lo que se le solicitó, describirán los posibles procesos evolutivos que generaron su propuesta filogenética, relacionándolos con los modelos de TSE y el EP.</p> <p>También se pretende desarrollar la habilidad de <b>ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN</b> e</p>

<sup>5</sup> Tendrán a la mano la información de las especies, es decir las tablas, gráficas y propuestas filogenéticas de los autores que ya emplearon (Ruiz y Ayala, 2002; Sour y Quiroz, 2010; Sampedro, 2004; Vázquez García, 2004).

<p>Las especies a considerar son las mismas que trabajaron en la línea del tiempo en papel, y podrán emplear preferentemente la información que se ha revisado hasta el momento. (especies seleccionadas)</p> <p>Al hacer la propuesta se deben contemplar:</p> <p>Los caracteres morfológicos, tiempo de originación y extinción de las especies, y distribución geográfica.</p> <p>Posteriormente se contestarán las siguientes preguntas para completar la actividad</p> <p>1 ¿Son suficientes los mecanismos de microevolución para explicar la filogenia del grupo? Argumente su respuesta.</p> <p>2 ¿Qué tipo de criterios se están considerando para determinar cada una de las especies; es decir cómo sabemos que los neandertales y los cromañones no son la misma especie?</p> <p>3¿Es suficiente el seguimiento al ambiente de las especies para explicar la evolución de los homínidos?</p> <p>4¿Qué otros datos serían importantes para explicar mejor el presente caso?</p>	<p><b>INFERENCIA</b>, porque los alumnos deberán cuestionar evidencias, proponer alternativas y sacar conclusiones. Ellos considerarán los datos disponibles en ese momento, para identificar y ratificar los elementos requeridos (por ejemplo la capacidad craneal, o el prognatismo), para elaborar conjeturas o hipótesis.</p> <p>También se persigue fomentar la habilidad de <b>EXPLICACIÓN</b>, la cual contempla enunciar resultados, justificar procedimientos y presentar argumentos.</p> <p>Por lo tanto los alumnos deberán:</p> <p>Ordenar y comunicar a otros los resultados de su razonamiento, justificando el mismo y las conclusiones a las que llegaron, en términos de evidencias.</p> <p>También se obligarán a presentar el razonamiento en una forma clara, convincente y persuasiva.</p>
--	--

Como se mencionó anteriormente, se aplicó el instrumento de evaluación antes de realizar la intervención, y dos semanas después de ella.

¿Cuál es el parásito más resistente? ¿Una bacteria?  
¿Un virus? ¿Una tenia intestinal? –Lo que intenta  
decir el Sr. Cobb... Una idea. Resistente.  
altamente contagiosa. Una vez que una idea se ha  
apoderado del cerebro es casi imposible  
erradicarla. Una idea completamente formada y  
entendida, que se aferra...<sup>1</sup>

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### CARACTERIZACIÓN DE LAS RESPUESTAS DE TODOS LOS GRUPOS

#### Registro fósil

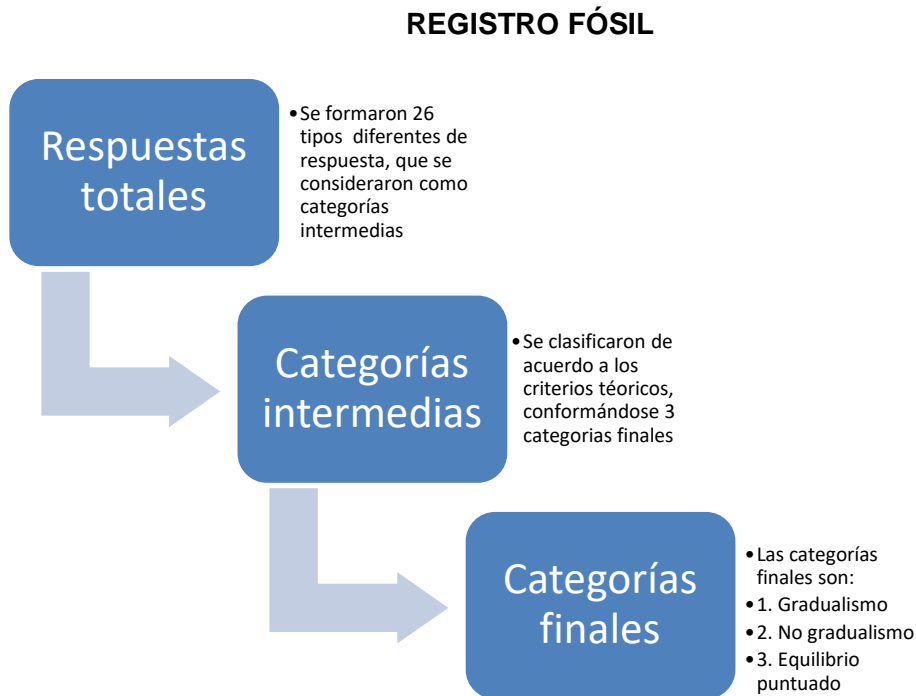
Los resultados de los cuestionarios aplicados a los alumnos de la licenciatura en Biología se transcriben a continuación:

La primera pregunta fue “Al revisar el registro de fósiles de una localidad, es posible que no se observe como una especie ha cambiado gradualmente en otra, esto puede deberse a...”; el tratamiento de las respuestas se esquematiza de la siguiente forma:

---

<sup>1</sup>Frases de la película *Inception* dirigida por Christopher Nolan, estrenada en 2010.

**FIGURA 1. Tratamiento de los datos sobre el registro fósil.**



Se aplicaron un total de 218 cuestionarios que resultaron en 308 respuestas totales, puesto que cada estudiante podía producir dos o más respuestas a una pregunta, por ejemplo el alumno con Clave 02 5176 FC respondió a esta pregunta así: “que las poblaciones pasan por largos periodos de estasis seguidos de procesos puntuales de especiación. También podría deberse a la imperfección del registro fósil”, esta contestación se contabilizó como dos respuestas distintas para el efecto de analizarlas. Todas las respuestas de los estudiantes se ordenaron en 26 grupos, que se enuncian en seguida.

## **TABLA 2. Tipos de respuesta sobre el registro fósil. Categorías intermedias**

1. Deterioro o degradación de los materiales fósiles.
2. Falta de fósiles en el registro/ dificultades en los procesos de fosilización y en su estudio.
3. Porque los fósiles sean alóctonos, la especie no habitaba en ese lugar /cambio de ubicación geográfica de la especie.
4. Es el mismo período de tiempo en que existieron.
5. Por confusión no pueden identificarlas (o es muy difícil).
6. Las estructuras de los fósiles no son visibles.
7. Falta indagación paleontológica /aún no se han encontrado los ejemplares.
8. Que su cambio no haya afectado la morfología/ los cambios fueron internos.
9. Que el medio no ha cambiado (o no mucho).
10. Aislamiento/ cambio en poblaciones que se fragmentan y se transforman por separado/ deriva Génica.
11. Que han funcionado como especie.
12. No hubo necesidad de adaptación/ la especie no necesito el cambio.
13. Los cambios son poco notables.
14. El cambio evolutivo es lento/ cambio es muy gradual / los cambios ocurren en un lapso largo de Tiempo.
15. Que se extinguió.
16. Cambio radical en el ecosistema / o cambios continuos en el ambiente.
17. Porque no cambió la especie/ que no evolucionó.
18. Que algunas especies no cambian gradualmente/ hay cambios bruscos entre dos especies.
19. Permanencia de rasgos.
20. Se presentan estasis y cambios/ los caracteres difieren en tasas evolutivas y hay estasis.
21. Por equilibrio puntuado.
22. Procesos de especiación o evolución rápida/ cambios acelerados.
23. Porque no existió estasis (entonces existió puntuación).
24. Que no existan especies intermedias o con caracteres intermedios.
25. Hay períodos de estasis evolutiva/ evolución sin cambio direccional.
26. Algunas especies evolucionan con grandes cambios y otras con cambios mínimos

Cabe mencionar que las 26 categorías –denominadas intermedias— se fueron constituyendo conforme se revisaban las respuestas de los estudiantes y esto se hizo grupo por grupo; llegó un momento en que al revisar los últimos grupos ya no aparecían categorías diferentes.

Estas categorías intermedias son muy próximas a lo que respondieron los estudiantes, y en ellas se advierte una amplia gama de contestaciones; a veces los alumnos mencionan con precisión el nombre de alguna teoría como el equilibrio puntuado, pero en otras ocasiones contestan con afirmaciones no aceptables para la ciencia, como “que no evolucionó”. Entonces se separaron este tipo de respuestas considerándose no válidas, mientras que las válidas se arreglaron de distintas maneras por similitud. Finalmente se correlacionaron las respuestas con la teoría sintética y el equilibrio puntuado para obtener las categorías finales<sup>2</sup>.

Al analizar los datos se obtuvo la siguiente tabla y gráfica sobre la frecuencia de respuestas por categoría intermedia.

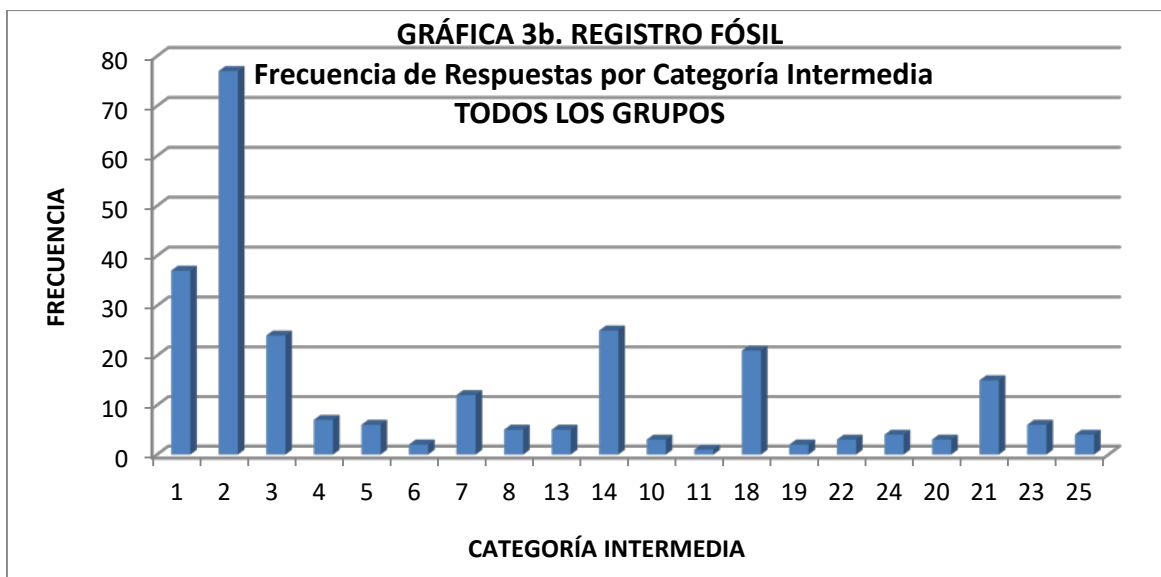
**TABLA 3a. REGISTRO FÓSIL**  
**FRECUENCIA DE RESPUESTAS POR CATEGORÍA INTERMEDIA**  
**TODOS LOS GRUPOS**

Categorías Intermedias

	GRADUALISTA S										NO GRADUALISTA						EQUILIBRIO P.				NO VÁLIDAS
	1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	10	11	18	19	22	24	20	21	23	25	
FC 5009	4	1	3	0	1	0	5	2	0	8	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	8
FESZ1102	8	7	6	0	0	0	3	1	2	6	1	0	3	2	0	0	0	0	0	0	19
FESZ 1201	2	3	3	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4
FESZ 2201 <sup>a</sup>	3	7	2	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
FESZ 2252 <sup>a</sup>	5	7	2	0	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
FESZ 2254 <sup>a</sup>	7	11	2	1	0	0	2	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
FC 5176	2	16	3	2	0	0	1	0	0	0	0	0	7	0	1	0	0	7	0	0	1
FC 5284	0	17	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	3	0	2	0	2	4	2	3	1
FESI 2603	6	8	2	2	1	0	0	0	1	2	1	0	3	0	0	4	0	4	4	1	3
SUBTOTAL	37	77	24	7	6	2	12	5	5	25	3	1	21	2	3	4	3	15	6	4	46
	200										34						28				46
TOTAL	N=262 RESPUESTAS VÁLIDAS										308 RESPUESTAS TOTALES										

<sup>2</sup> Para ver la relación entre las categorías finales, semifinales e intermedias, revisar el Apéndice 4.





Como se puede apreciar de las 308 respuestas totales, 262 fueron válidas; y se distribuyeron de manera mayoritaria hacia las categorías gradualistas. La categoría con mayor frecuencia fue la “Falta de fósiles en el registro/ dificultades en los procesos de fosilización y en su estudio” con 77 respuestas. Le continúa en orden decreciente las categorías 1, 14, 3 y 18 como más recurrentes.

La categoría más frecuente (cat. 2) tuvo más del doble de respuestas que la segunda más alta (cat. 1), esto es una amplia distancia con los demás tipos de respuestas. Pero además, las cuatro respuestas más comunes fueron gradualistas y son aparte de la ya señalada, las siguientes:

1. Deterioro o degradación de los materiales fósiles.
14. El cambio evolutivo es lento/ cambio es muy gradual / los cambios ocurren en un lapso largo de tiempo.
3. Porque los fósiles sean alóctonos, la especie no habitaba en ese lugar /cambio de ubicación geográfica de la especie.

Que coinciden con lo escrito por Darwin, en el capítulo *De la imperfección de los datos geológicos* de *El Origen de las Especies* cuando justificaba la discontinuidad en los registros paleontológicos. Él menciona como causa de las brechas, *tiempo insuficiente, emigración, pobreza de las colecciones paleontológicas, forma arbitraria de discriminar variedades y especies, no ocupar la misma región, sedimentación discontinua, insuficiente y sedimentación intermitente, y período corto de las modificaciones comparado con el que no se presentan*, entre las principales, en concreto la extrema imperfección de los datos geológicos (ver marco teórico).

Llama la atención la semejanza entre las respuestas de muchos estudiantes con las explicaciones sustentadas por Darwin en *El Origen de las especies*, como se puede apreciar en lo siguiente.

TABLA 4. Comparación entre explicaciones darwinianas y categorías intermedias

<b>DARWIN <i>El Origen de las especies</i></b>	<b>Respuestas de los estudiantes</b>
	<b>CATEGORÍAS INTERMEDIAS</b>
Tiempo insuficiente	14. El cambio evolutivo es lento/ cambio es muy gradual / los cambios ocurren en un lapso largo de tiempo.
Emigración, la especie no ocupaba la misma región	3. Porque los fósiles sean alóctonos, la especie no habitaba en ese lugar /cambio de ubicación geográfica de la especie.
Pobreza de las colecciones paleontológicas	7. Falta indagación paleontológica /aún no se han encontrado los ejemplares.
Forma arbitraria de discriminar variedades y especies	5. Por confusión no pueden identificarlas (o es muy difícil).
Deterioro de los fósiles	1. Deterioro o degradación de los materiales fósiles.
Imperfección de los datos geológicos	2. Falta de fósiles en el registro/ dificultades en los procesos de fosilización y en su estudio.

Estos resultados pueden deberse a la exposición de los alumnos a los temas relativos a la paleontología; en el caso de los estudiantes de FES Zaragoza, desde el primer semestre revisan lo relativo al registro fósil.<sup>3</sup> De hecho, los alumnos de FES Zaragoza escriben casi la mitad de las respuestas registradas, 151 de 308, esto es el 49%.

Hay que recordar que la biología moderna es, en gran medida, conceptualmente darwiniana (Mayr, 2006:20), por lo que ésta sería la interpretación aceptada actualmente, si bien solo un porcentaje muy bajo de alumnos habrán leído a Darwin, ellos pueden obtener la información de los cursos ofrecidos en relación al tema de la evolución y al del registro fósil.

Esta interpretación es muy común actualmente, como nos comentan Eldredge y Gould (1977: 90)

Todos hemos oído la respuesta tradicional con tanta frecuencia, que se ha convertido como una impresión de un catecismo que no admite análisis: el registro fósil es extremadamente imperfecto. De las reclamaciones de renombre de un Cuvier o un Agassiz a las burlas de empuñadura modernas y fundamentalistas, que se han mantenido como el parapeto de argumentos anti-evolucionistas: "Para que la evolución sea verdad, tendría que haber miles, millones de formas de transición haciendo una cadena ininterrumpida "(Anónimo, 1967 - a partir de los Testigos de Jehová folleto)<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Ver Apéndice 7

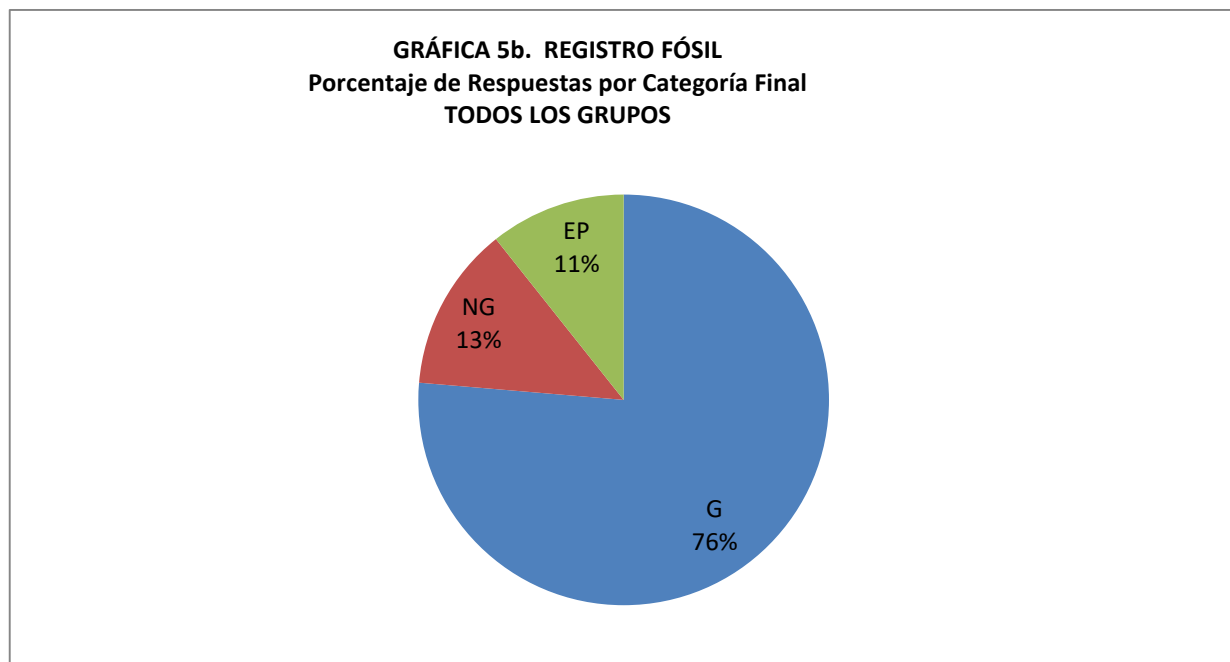
<sup>4</sup> We have all heard the traditional response so often that it has become imprinted as a catechism that brooks no analysis: the fossil record is extremely imperfect From the reputable claims of a Cuvier or an Agassiz to the jibes of modern cranks and fundamentalists, it has stood as the bulwark of anti-evolutionist arguments: "For evolution to be true, there had to be thousands, millions of transitional forms making an unbroken chain" (Anon., 1967 --from a Jehovah's Witnesses pamphlet). (Eldredge y Gould 1977: 90)

Por otro lado, la última de las cinco categorías más frecuentes fue “Que algunas especies no cambian gradualmente/ hay cambios bruscos entre dos especies”<sup>5</sup>. Los estudiantes acuden a esta explicación aún sin mencionar alguna teoría concreta como el equilibrio puntuado.

**TABLA 5a. REGISTRO FÓSIL**  
**RESPUESTAS POR**  
**CATEGORÍA FINAL**  
**TODOS LOS GRUPOS**

G	NG	EP
200	34	28

N=262



En la tabla 5a y gráfica 5b, acerca del porcentaje de respuestas por categoría final, se aprecia claramente que la mayoría de los estudiantes cuestionados produjeron una respuesta gradualista, pues este porcentaje se elevó al 76% de las 262 respuestas válidas, siendo el 13% de respuestas no gradualistas, y el 11% de las correspondientes

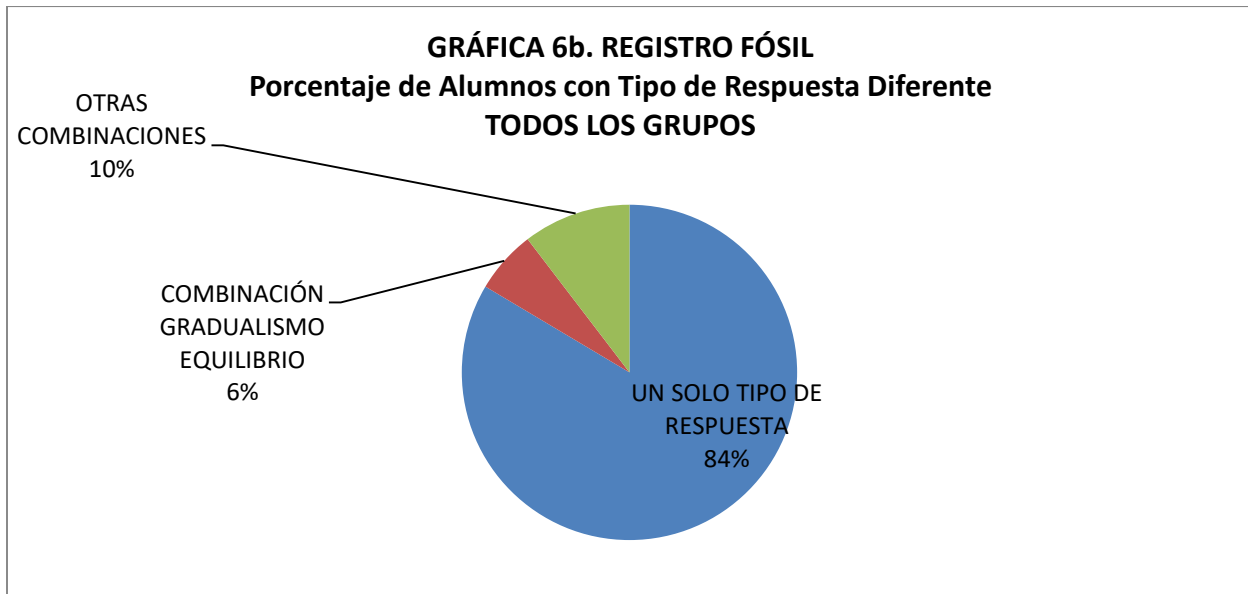
<sup>5</sup> Categoría número 18.

al equilibrio puntuado.

Por otra parte, en este estudio, interesa que los estudiantes no cambien o sustituyan la perspectiva gradualista por la del equilibrio puntuado. La propuesta más bien, va en el sentido de que se enriquezca su forma de apreciar los procesos, es decir, que al punto de vista gradualista le añadan el puntualista.

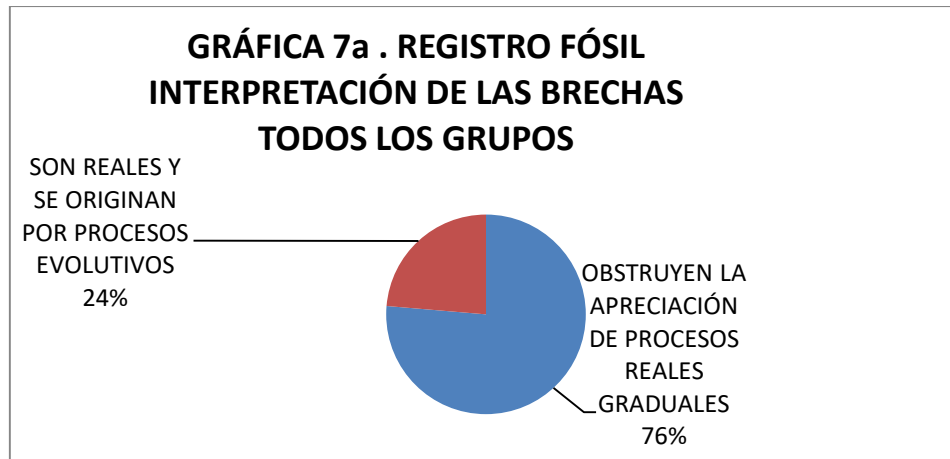
Precisamente la siguientes tabla y gráfica muestran este aspecto.

<b>TABLA 6a . REGISTRO FÓSIL</b> <b>Porcentaje de Alumnos</b> <b>con tipo de Respuesta Diferente</b> <b>TODOS LOS GRUPOS</b>			
GRUPO	UN SOLO TIPO DE RESPUESTA	COMBINACIÓN GRADUALISMO EP	OTRAS COMBINACIONES
FC 5009	26	0	1
FESZ 1102	38	0	1
FESZ 1201	10	0	2
FESZ 2201	13	0	1
FESZ 2252	19	0	0
FESZ 2254	30	0	0
FC 5176	14	5	7
FC 5284	14	7	6
FESI 2603	29	2	6
SUBTOTALES	193	14	24
N=218 cuestionarios			



Aquí reconocemos que el 84% de 218 cuestionarios analizados comprenden un solo tipo de respuesta, y únicamente el 6% tienen una respuesta gradualista y otra puntualista, denotando que el que contesta considera plausibles ambos tipos de procesos.

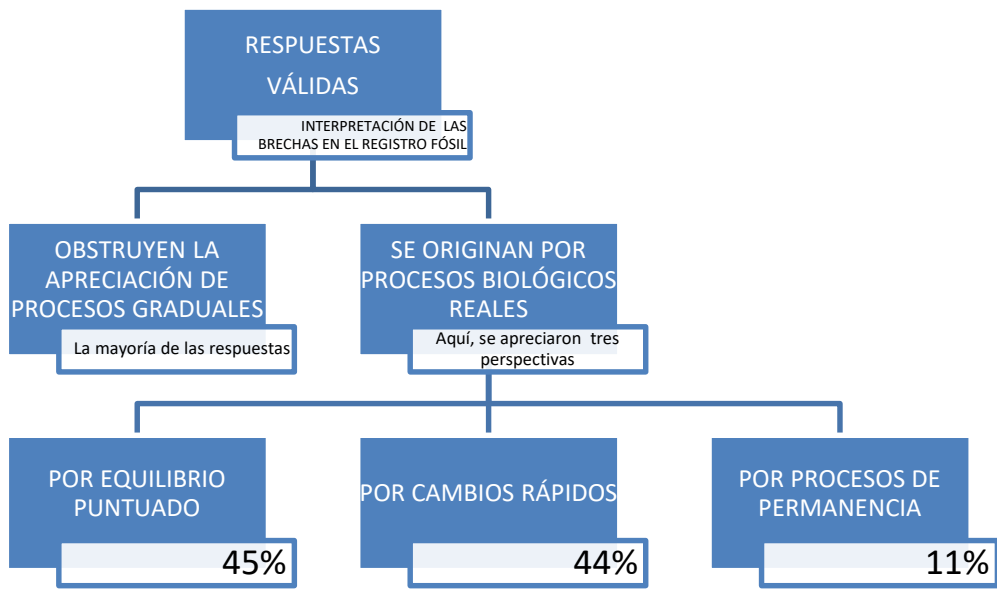
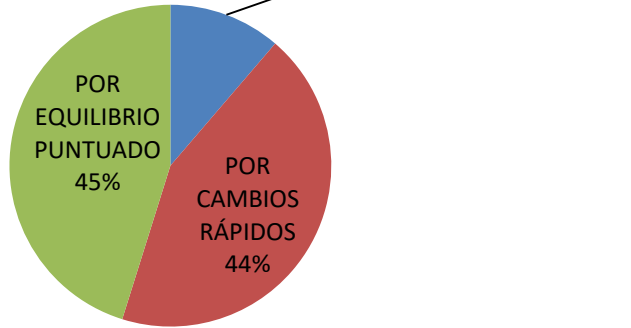
También un hallazgo importante es la forma de interpretar las brechas o discontinuidades en el registro fósil. De todos los cuestionarios analizados se encontraron 262 respuestas válidas que pueden clasificarse en dos tipos; aquellas que asumen que la no gradualidad en el registro es ocasionada por procesos evolutivos, y las que se pronuncian suponiendo que las discontinuidades solo son efecto de factores que afectan al registro, o a su estudio pero no son resultado de fenómenos evolutivos (etiquetadas como gradualistas).



Las respuestas que señalan que la no gradualidad se debe a factores relacionados con el registro fósil (76%), señalan explicaciones apegadas al darwinismo en las que se considera al registro extremadamente imperfecto, y a las investigaciones paleontológicas como escasas (coinciden con lo que dice Darwin el libro de *El Origen de las especies*).

Las que asumen la realidad de procesos evolutivos que originan discontinuidades (24%) se expresan a su vez de tres maneras, una de ellas consiste en afirmar que las especies pueden permanecer sin cambios, otra en señalar que las especies sufrieron procesos rápidos de transformación, y la tercera la explican asociándola a la teoría del equilibrio puntuado. Es preciso señalar que no se registró alguna respuesta que uniera los procesos rápidos y la estabilidad para entender las brechas en el registro fósil, excepto los que habían revisado en clase el tema de equilibrio puntuado.

**GRÁFICA 7b. REGISTRO FÓSIL  
EXPLICACIÓN DE LAS BRECHAS  
GRUPOS DE LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**



**FIGURA 8. Segregación de respuestas en relación a la interpretación del registro fósil.**

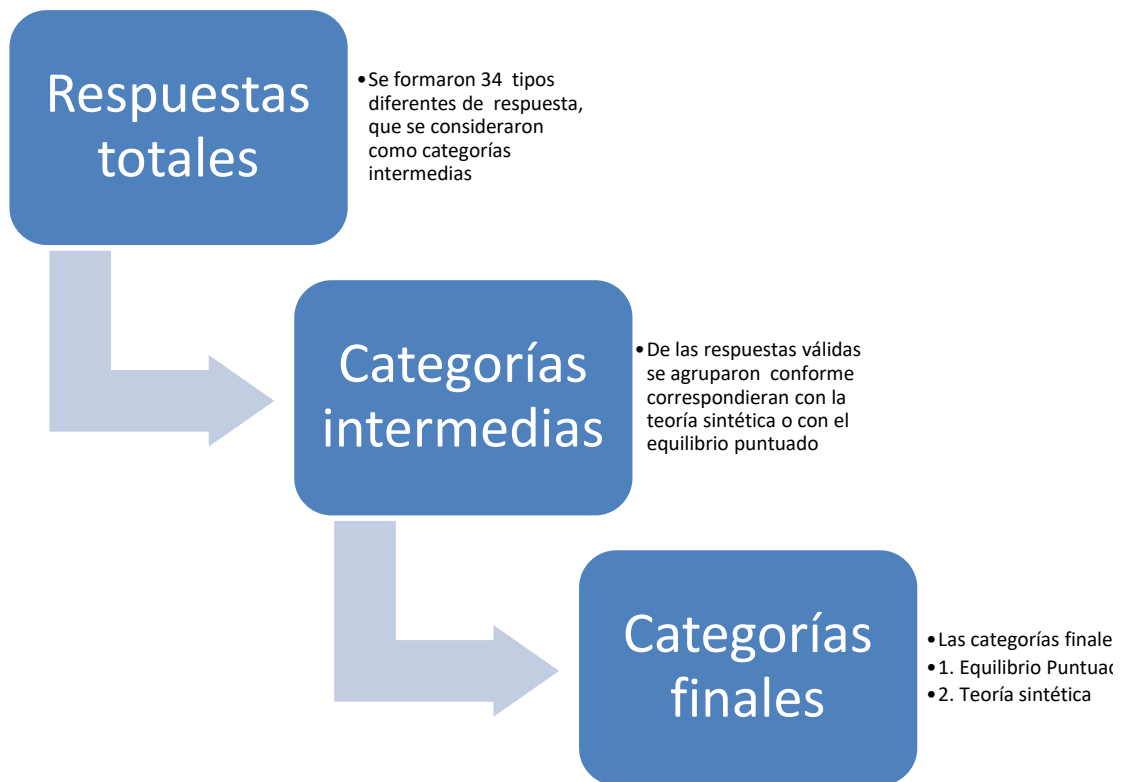


## Estasis

La segunda pregunta analizada fue “Algunas especies como las cucarachas han experimentado pocos cambios morfológicos durante millones de años, esto se puede deber a...”, el procesamiento de datos fue el siguiente:

**FIGURA 9. Tratamiento de los datos sobre la estasis.**

### ESTASIS



Se aplicaron un total de 230 cuestionarios que resultaron en 270 respuestas totales<sup>6</sup>. Las respuestas de los estudiantes se ordenaron en 34 grupos, que se pueden consultar en el apéndice 5. En seguida se reproducen las categorías compatibles con la teoría sintética y con el equilibrio puntuado

<sup>6</sup> Ver Apéndice 5 ESTASIS para revisar los datos del número de cuestionarios por grupo.

**Tabla 10. Tipos de respuesta sobre la estasis. Categorías intermedias.**

**COMPATIBLES CON EL EQUILIBRIO PUNTUADO**

- 1 Estasis.
- 2 Constricciones genéticas o constricciones en el desarrollo.
- 7 Supervivencia mayor que otras especies.
- 8 Exaptación.

**COMPATIBLES CON LA TEORÍA SINTÉTICA**

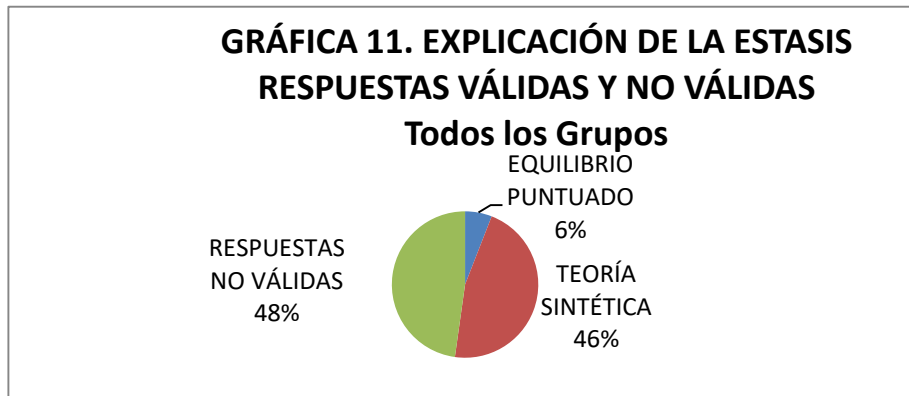
- 6 Su composición genética / alelos adecuados.
- 9 Plasticidad fenotípica o adaptativa<sup>7</sup>.
- 10 Mutaciones neutrales.
- 11 Selección estabilizadora seguida de retención de caracteres adaptativos.
- 14 Pocos cambios en su nicho / Pocos cambios en su comportamiento.
- 15 Porque son generalistas/ o el rango del nicho es grande/ son cosmopolitas.
- 16 Su forma de vida/ su tipo de adaptación al medio/ sus hábitos ecológicos.
- 17 Han alcanzado un pico adaptativo/ nivel alto de adecuación.
- 18 Su éxito como especie.
- 19 Su éxito en la adaptación (han sido exitosos por alguna propiedad de la especie)/ sus adaptaciones han  
    Función.
- 20 Ya se encuentran adaptadas al medio donde están.
- 21 Adaptadas o resistentes para soportar cambios (bruscos o no)/o condiciones extremas/ o nuevos ambientes / Resistencia al medio/ soportan el estrés ambiental.
- 27 Selección natural / Otros cambios que pudieran surgir fueron eliminados (selección natural)
- 28 La facilidad o capacidad de adaptarse.

El número de categorías que se formaron fue mayor que en el caso de la apreciación del registro fósil. Para esta pregunta se obtuvieron 34 categorías, mientras que en la del registro fueron sólo 26. Las respuestas emitidas por los estudiantes realmente fueron muy diversas, Alucema (1996:118) en su estudio sobre la evaluación de las organizaciones conceptuales de los estudiantes de biología respecto al concepto de evolución señala también, que los grupos presentan una gran variabilidad en las respuestas, tanto al interior de cada grupo, como entre éstos. En esta investigación, los factores o procesos que señalaron en sus contestaciones, fueron bastante diferentes y muchas de las respuestas no fueron compatibles con alguna

---

<sup>7</sup> La plasticidad fenotípica es la capacidad de un organismo de producir fenotipos diferentes en respuesta a cambios en el ambiente (Schmalhausen, 1949 en Marino Cabrera, 2004: 15)

teoría evolutiva actualmente aceptada para la ciencia. De las 270 respuestas emitidas por los estudiantes 129 no fueron válidas, es decir un 48%, lo que sugiere que un amplio porcentaje de los alumnos no emite una respuesta aceptable para la explicación de la estasis.

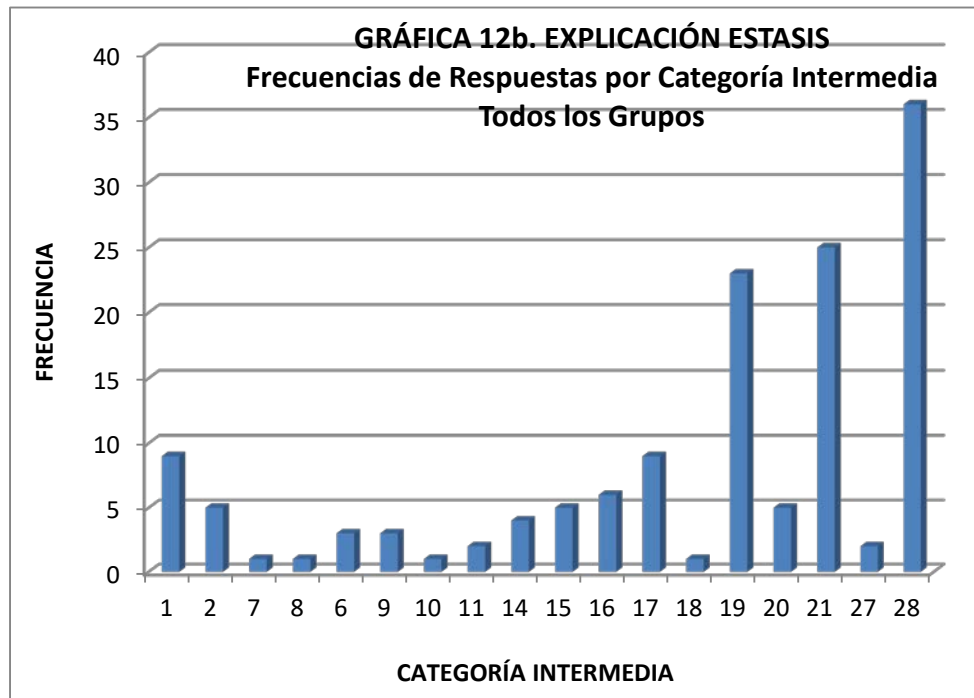


La distribución de las respuestas se presenta a continuación.

TABLA 12a. EXPLICACIÓN ESTASIS  
FRECUENCIA DE RESPUESTAS POR CATEGORÍA INTERMEDIA  
TODOS LOS GRUPOS

	EQUILIBRIO PUNTUADO		TEORÍA SINTÉTICA															CUESTIONARIOS				
	1	2	7	8	6	9	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	28	RV	NV	RT	
FESZ 1102	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	5	1	7	0	8	27	23	50	47
FESZ 1201	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	0	1	7	4	11	12
FC 5009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	8	17	25	27	
FESZ 2201 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	4	0	2	0	6	14	16	30	25
FESZ 2252 <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	9	13	18	31	28	
FESZ2254a	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	5	0	3	12	20	32	26
FC 5176	0	2	0	0	1	0	1	0	2	1	1	3	0	3	0	4	1	0	19	12	31	23
FC 5284	2	3	0	0	0	3	0	2	1	2	1	4	0	2	2	2	0	3	27	9	36	23
FESI 2603	7	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	1	1	14	10	24	19
<b>SUBTOTAL</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>36</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>27</b>	<b>230</b>
					<b>1</b>												<b>12</b>					
					<b>6</b>												<b>5</b>					

RT=270 Respuestas Totales 230 Cuestionarios  
RV= 141 Respuestas válidas  
NV=129 Respuestas no válidas

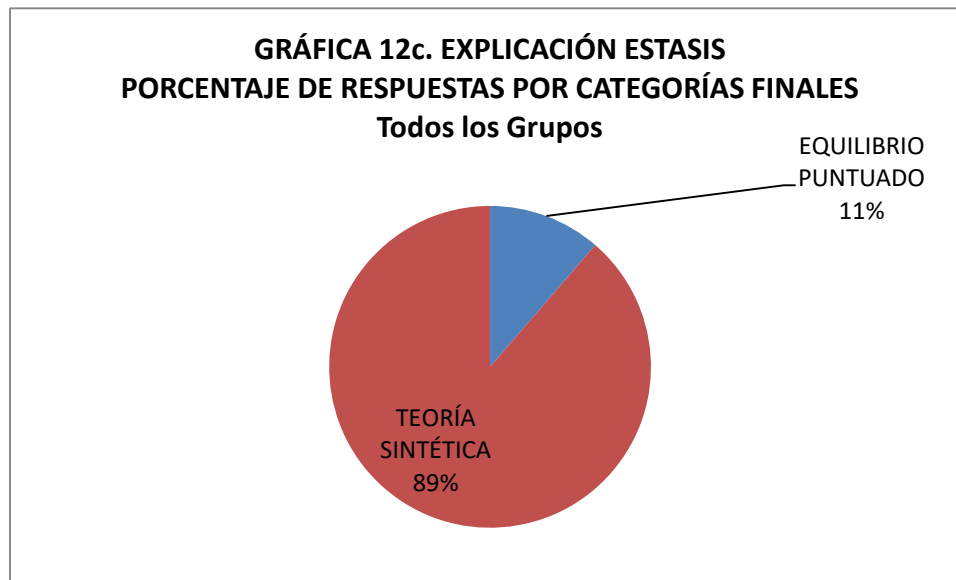


Como se puede observar, sólo se obtuvieron 141 respuestas válidas de los 230 cuestionarios contestados. Los tres tipos de respuestas con mayor frecuencia fueron en orden decreciente:

- a. La facilidad o capacidad de adaptarse.
- b. Adaptadas o resistentes para soportar cambios/ o condiciones extremas/ o nuevos ambientes / Resistencia al medio/ soportan el estrés ambiental.
- c. Su éxito como especie.

Estas respuestas alcanzaron una frecuencia muy superior al resto, ya que cada una de ellas llega a tener más del doble de la frecuencia de las otras respuestas. Por ejemplo la tercera más frecuente tiene una incidencia de 23, mientras que la cuarta es de nueve.

Las respuestas hacen referencia a que las especies con estabilidad morfológica tienen facilidad para adaptarse (aún sin cambio en la forma), o están adaptadas a cambios, o que han tenido éxito como especie. Este “éxito” como especie puede recordar el modelo de “picos adaptativos” de Sewall Wright.



De las respuestas consideradas válidas (141), el 89% de ellas correspondieron a una explicación sintetista, y únicamente el 11% a una puntualista. Esto es un muy alto porcentaje para la visión sintetista. Es posible que se deba a que se les interpela por un caso que parece excepcional de la evolución; es decir, por un caso de estabilidad morfológica prolongada en una especie concreta. Bajo la perspectiva gradualista, la evolución puede contemplarse como un proceso de cambio continuo --si bien puede presentarse con distintas velocidades de cambio- pero siempre se presenta.

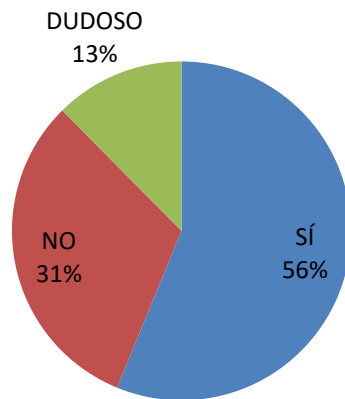
Por lo que al analizar un caso de “inmovilidad” morfológica, los alumnos recurren a la respuesta de una facilidad para adaptarse, una resistencia para soportar cambios y al éxito como especie. Si bien, en un cuarto lugar aparece una respuesta puntualista, que es la estasis (la categoría 1, junto con la 17 que es puntualista), el número de alumnos que responde así es de nueve de 230 alumnos. Hay que recordar que el 48% de las respuestas no fueron válidas, y la diversidad de las mismas fue bastante amplia.

Sin embargo, para estimar si los estudiantes comprendían al proceso de estabilidad morfológica como excepcional, se les formuló la siguiente pregunta, ¿es común que las especies animales permanezcan morfológicamente estáticas o casi, por miles de años? La respuesta se puede apreciar en la siguientes tabla y gráfica.

**TABLA 13a. ALUMNOS QUE CONSIDERAN LA ESTASIS COMÚN**

GRUPOS	TODOS LOS GRUPOS			TOTAL
	SÍ	NO	DUDOSO	
SUBTOTAL	86	48	19	153
FESZ 1102	26	16	6	48
FESZ 1201	7	3	2	12
FC 5009	13	11	3	27
FC 5176	12	9	2	23
FC 5284	13	5	4	22
FESI 2603	15	4	2	21

**GRÁFICA 13b. ALUMNOS QUE CONSIDERAN A LA ESTASIS COMÚN  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**



Y efectivamente más de la mitad de los alumnos (56% de 153) respondieron que sí es común que las especies animales permanezcan morfológicamente estáticas, -aquí encontramos una aparente contradicción, puesto que cuando ellos mismos analizaron el registro fósil, sólo 3% de todas las respuestas emitidas mencionaron la posibilidad de que las especies permanecieran sin cambio morfológico. Si fuera tan común, por qué no la mencionaron en sus respuestas. Quizá para ellos la estasis se pueda presentar frecuentemente, pero de ninguna manera conforma la generalidad a escala geológica.

Posiblemente la dificultad para contestar la pregunta de la estabilidad o estasis morfológica, se relacione –entre otras cosas- con el nivel epistémico de la misma ya que se les solicita a los estudiantes una explicación, y se ha documentado ampliamente que los estudiantes presentan dificultades cuando se les solicita el nivel explicativo de las teorías (Guillén Rodríguez, 1995).

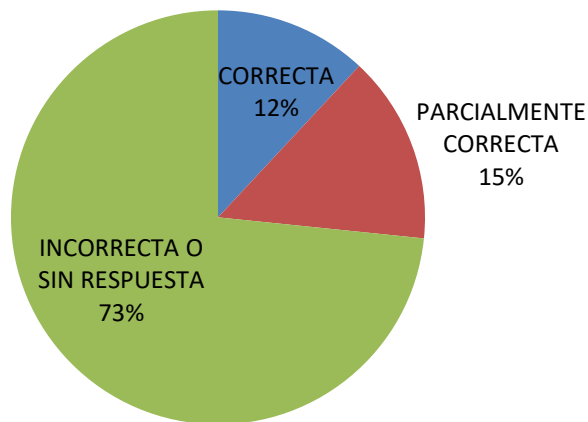
### Concepto de equilibrio puntuado

La última pregunta fue acerca del concepto de equilibrio puntuado, el planteamiento concreto fue “La teoría del equilibrio puntuado postula que...”. En la siguiente tabla se aprecian los resultados.

TABLA 14a. CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO TODOS LOS GRUPOS				
<b>La teoría del Equilibrio puntuado postula que</b>				
	CORRECTA	PARCIALMENTE CORRECTA	INCORRECTA O SIN RESPUESTA	NÚM. CUESTIONARIOS
SUBTOTAL	35	43	215	293
FESZ 1102	0	0	52	52
FESZ 1201	0	0	12	12
FC 5009	0	0	29	29
FESZ 2201	0	0	26	26
FESZ 2252	0	0	30	30
FESZ 2254	0	1	25	26
FC 5176	9	7	9	25
FESI 2601d	8	9	2	19
FESI 2603	7	10	4	21
FESZ 2201d	3	10	16	29
FESZ 2252d	4	5	10	19
FC SEMIN	4	1	0	5
N=293 Cuestionarios				



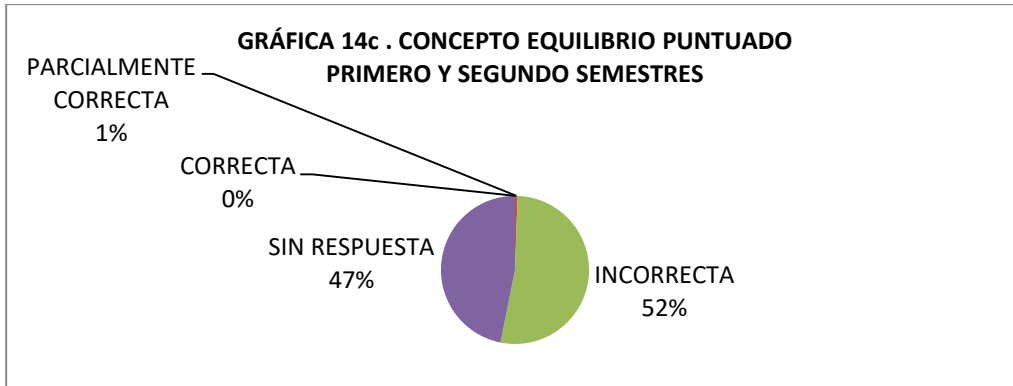
**GRÁFICA 14b. CONCEPTO DE EQUILIBRIO  
PUNTUADO  
TODOS LOS GRUPOS**



Como se expuso en la metodología, sólo se consideró correcta la respuesta cuando se mencionaban tanto el proceso de puntuación como el de estasis; y parcialmente correcta cuando se hacía referencia a uno solo de los procesos, o cuando contenía alguna mención equivocada.

De los 293 cuestionarios aplicados, únicamente el 12% escribió una respuesta correcta, y el 15% parcialmente correcta; la mayoría (el 73%) escribieron una respuesta incorrecta o dejaron el espacio sin respuesta.

Respecto a si conocen la definición del equilibrio puntuado al ingresar a la licenciatura, las respuestas a 175 cuestionarios contestados por alumnos de primero y segundo semestres indican que la desconocen, tal como se observa en la gráfica siguiente.

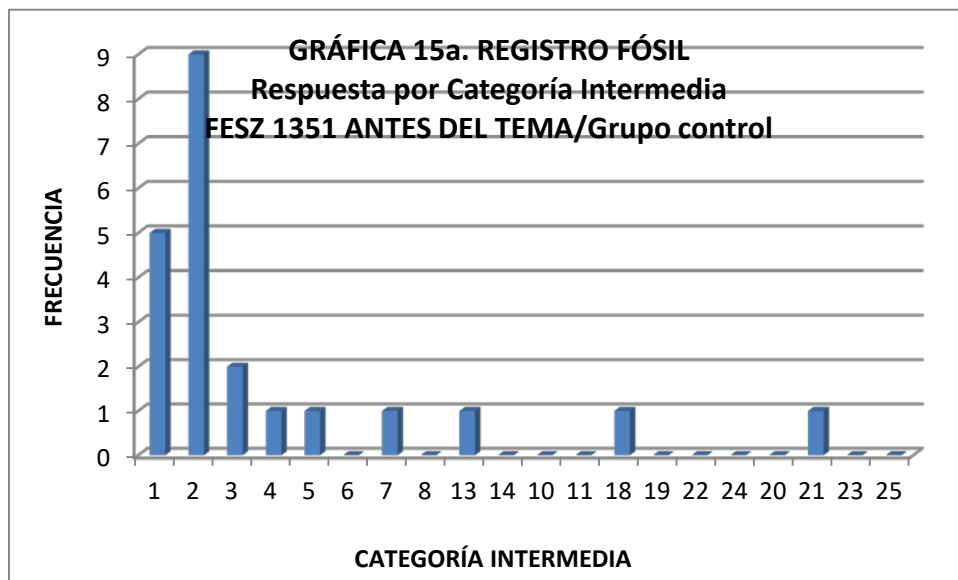


### COMPARACIÓN DE RESPUESTAS ACERCA DE LA PROPUESTA PDHI

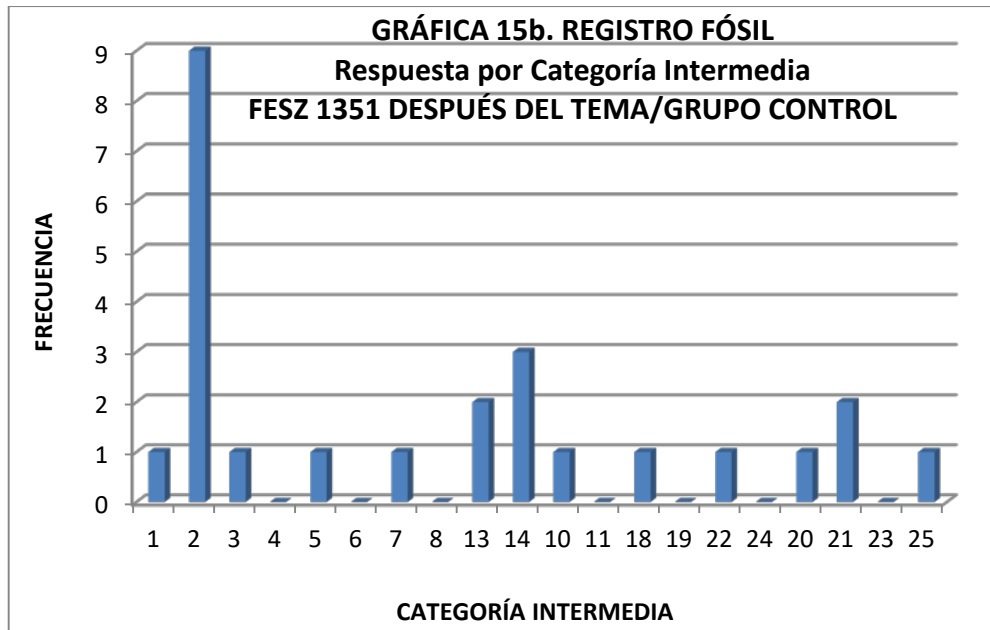
Se trabajó con dos grupos, uno control y otro en el que se llevó a cabo el programa PDHI.

#### Registro fósil

Iniciaremos con el registro fósil, y los siguientes son dos histogramas que indican la frecuencia de respuestas por categoría intermedia del grupo control<sup>8</sup> antes de tratar el tema en clase, y después de abordarlo.



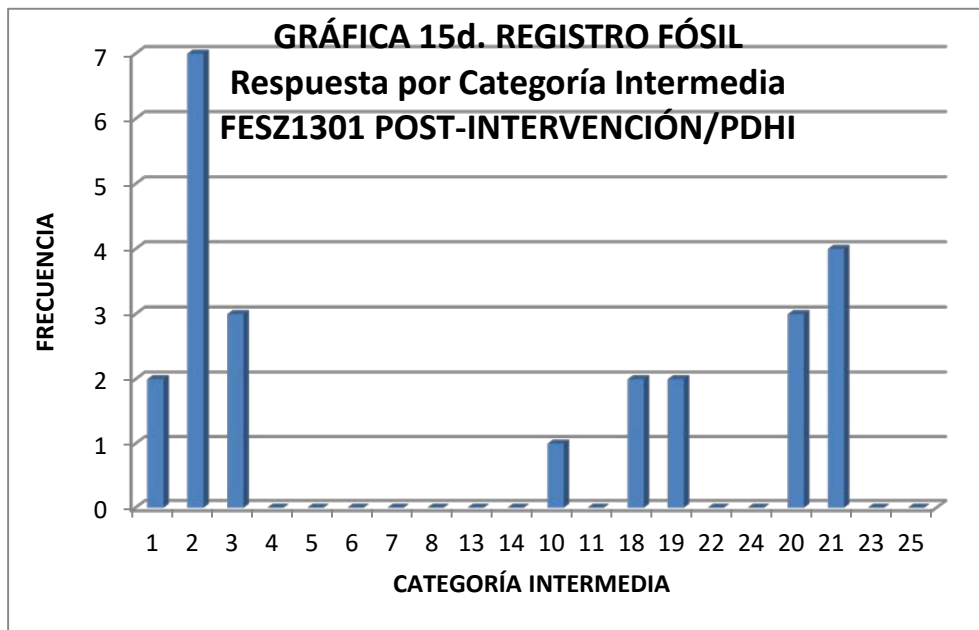
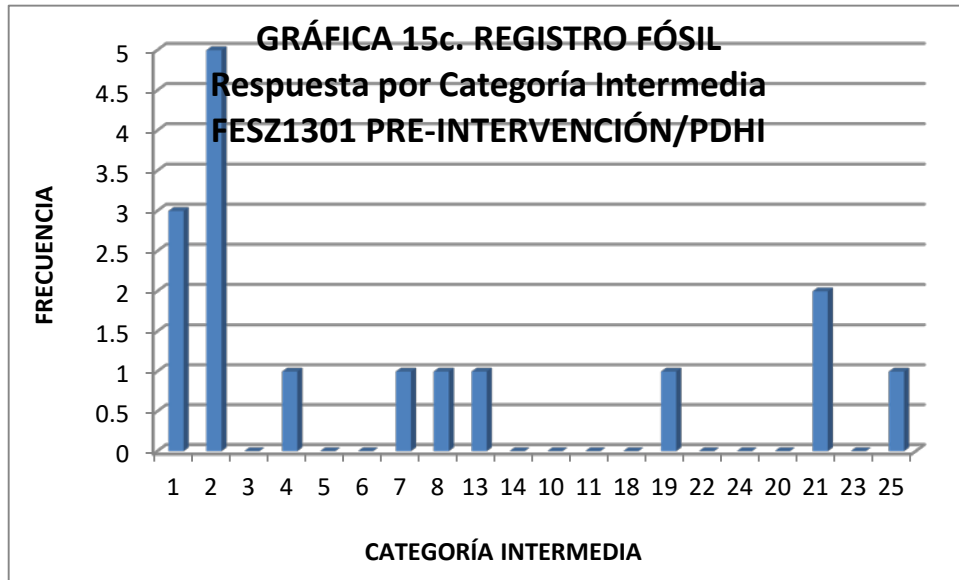
<sup>8</sup> La tabla de la frecuencia de respuestas por categoría intermedia se encuentra en el apéndice 6.



Ambas gráficas coinciden en que las respuestas más frecuentes son las primeras, que corresponden a las explicaciones gradualistas. Y en ambas, la respuesta dos resultó ser la más frecuente; es aquella que afirma que las brechas en el registro se deben a la “falta de fósiles en el registro/ dificultades en los procesos de fosilización y en su estudio”. Los dos histogramas coinciden a su vez con el general (de todos los grupos) en que la categoría dos fue la de mayor incidencia (ver gráfica 3b Registro fósil. Frecuencia de respuestas por categoría intermedia).

No obstante se logra apreciar que en el segundo histograma, que considera el caso después de tratar el tema en clase, las respuestas puntualistas (las categorías 20, 21 y 25) suben ligeramente en frecuencia.

Para el grupo con intervención del PDHI tenemos que los histogramas son los que continúan:

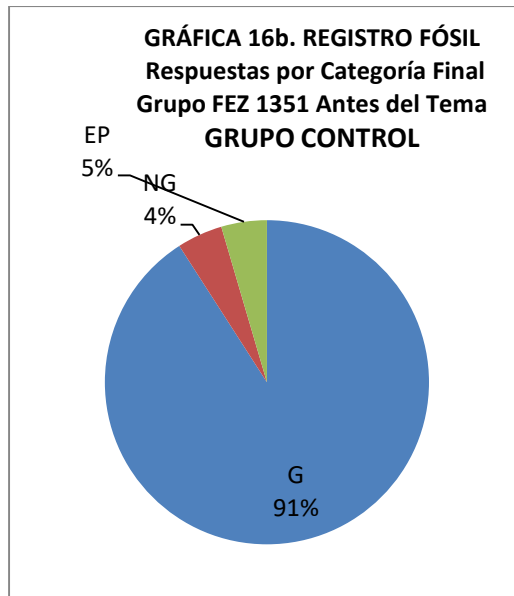


Nuevamente encontramos que la respuesta 2 es la más frecuente en ambos histogramas. En el que corresponde a antes de la intervención, encontramos varias categorías gradualistas (1, 2, 4, 7, 8, 13), una categoría no gradualista (19), y dos categorías puntualistas (21 y 25) con bajas frecuencias. Y en el histograma de post-intervención, sólo aparecen tres categorías gradualistas (1, 2, y 3), dos puntualistas (20 y 21) cuya incidencia aumentó; y se registran tres categorías no gradualistas (10, 18 y 19). Estas últimas dan cuenta de respuestas con una perspectiva distinta de la gradualista, en la cual, si bien no coinciden con la visión puntualista, si permiten al alumno considerar otros procesos que pudieran intervenir en el registro fósil.

Respecto a las categorías finales tenemos las tablas y gráficas que se presentan en seguida:

<b>TABLA 16a. REGISTRO FÓSIL</b>		
<b>FRECUENCIA DE RESPUESTAS</b>		
<b>POR CATEGORÍA FINAL</b>		
<b>GRUPO FESZ 1351 ANTES DEL TEMA/GRUPO CONTROL</b>		
<b>G</b>	<b>NG</b>	<b>EP</b>
20	1	1

22  
CUESTIONARIOS



En este caso, se inicia con una frecuencia muy alta de respuestas gradualistas, puesto que el 91 % de ellas están en esta categoría, mientras que sólo el 5% son puntualistas; sin embargo después de revisar el tema en el aula, se aprecia un cambio puesto que las respuestas gradualistas se reducen a un 72%, mientras que las respuestas no gradualistas y las concernientes al equilibrio se amplían a un 12 y 16% respectivamente.

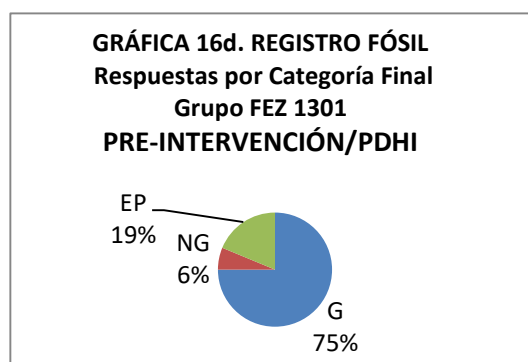
Estos últimos valores coinciden, en lo general con los valores aquí obtenidos para todos los grupos que se estudiaron en la licenciatura; es decir un 76% de gradualistas, un 13% de no gradualistas y un 11% de puntualistas (ver REGISTRO FÓSIL. Porcentaje de Respuestas por Categoría Final. Alumnos de la licenciatura en Biología).

En cuanto al grupo donde se trabajó PDHI las tablas y gráficas son las que continúan:

**TABLA 16c REGISTRO FÓSIL**  
**RESPUESTAS**  
**POR CATEGORÍA FINAL/PRE-INTERVENCIÓN**  
**GRUPO FESZ 1301PDHI**

G	NG	EP
12	1	3

16 RESPUESTAS

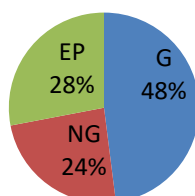


**TABLA 16e. REGISTRO FÓSIL**  
**RESPUESTAS**  
**POR CATEGORÍA FINAL**  
**FESZ 1301 POST-**  
**INTERVENCIÓN/PDHI**

G	NG	EP
12	6	7

25 RESPUESTAS VÁLIDAS

**GRÁFICA 16f.**  
**REGISTRO FÓSIL**  
**Respuestas por Categoría**  
**Final**  
**FESZ 1301 POST-**  
**INTERVENCIÓN/PDHI**



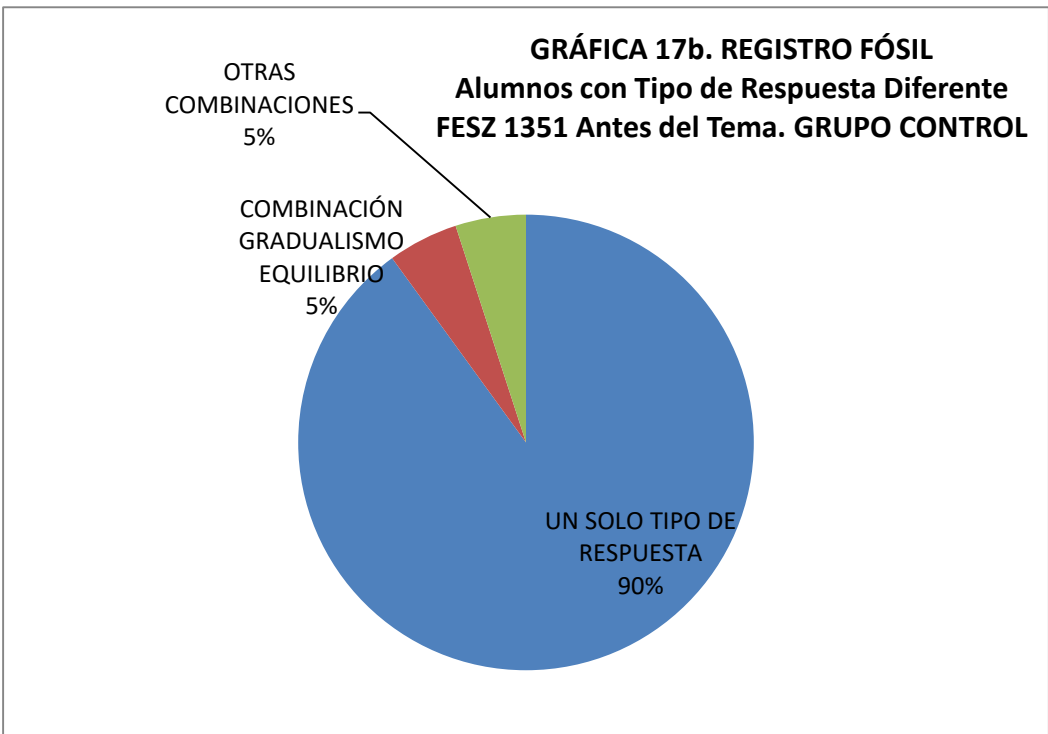
En principio los porcentajes encontrados en el grupo PDHI son de 75% de gradualistas, 6% de no gradualistas y un 19% de puntualistas, que concuerdan en general con los resultados hallados para todos los grupos de licenciatura, aunque el porcentaje de respuestas puntualistas es ligeramente mayor para este grupo de intervención.

Después de realizar la intervención, los porcentajes cambiaron quedando el 48% de respuestas gradualistas, el 28% puntualistas y el 24% de no gradualistas. Estos resultados nos indican que se aprecia una reducción en la perspectiva gradualista, pero aún más interesante es que las respuestas puntualistas y no gradualistas se amplían, dando constancia de una más diversa consideración de este proceso evolutivo.

En donde se puede apreciar más nítidamente, es en la siguiente gráfica y tabla, que da constancia de los tipos de respuesta distinta que emiten los estudiantes; es decir el porcentaje de alumnos que contestan con un solo criterio, y aquél que lo hace con más de un criterio.

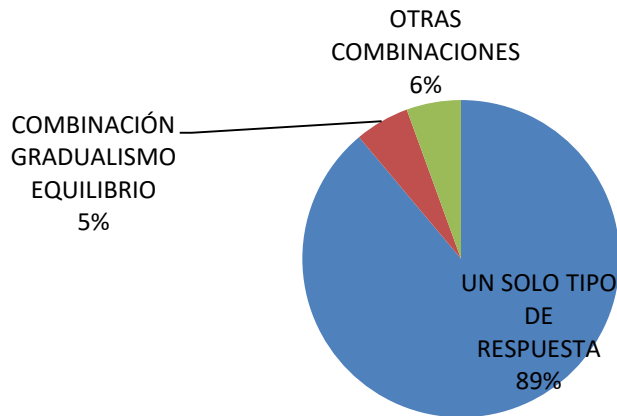


<b>TABLA 17a. REGISTRO FÓSIL</b> <b>Alumnos</b> <b>con tipo de Respuesta Diferente</b> <b>FESZ 1351 ANTES DEL TEMA/Grupo Control</b>			
	UN SOLO TIPO DE RESPUESTA	COMBINACIÓN GRADUALISMO EP	OTRAS COMBINACIONES
	18	1	1
N=22 RESPUESTAS VÁLIDAS			



<b>TABLA 17c. REGISTRO FÓSIL</b> <b>Alumnos</b> <b>con tipo de Respuesta Diferente</b> <b>FESZ 1351 Después del Tema/Grupo Control</b>			
	UN SOLO TIPO DE RESPUESTA	COMBINACIÓN GRADUALISMO EP	OTRAS COMBINACIONES
	16	1	1
N=20 RESPUESTAS VÁLIDAS			

**GRÁFICA 17d. REGISTRO FÓSIL**  
**Porcentaje de Alumnos con tipo de Respuesta Diferente**  
**FESZ 1351 Después del Tema/CONTROL**



En la tabla y gráfica pre-intervención se aprecia que el 90% emite un solo tipo de respuesta, y ésta es gradualista. Un 5% da una respuesta gradualista y agrega una puntualista, y otro 5% da otras combinaciones como gradualista y no gradualista.

Y en la tabla y gráfica post-intervención el porcentaje de estudiantes que contesta con un solo tipo de respuesta, que es la gradualista es el 89%, es decir básicamente permanece como tal; asimismo los valores de las distintas combinaciones –gradualista y puntualista, y otras combinaciones son de 5% y 6% respectivamente. Esto indica que después de tratar el tema en el grupo control, la mayoría de los estudiantes escribieron los mismos tipos de respuestas.

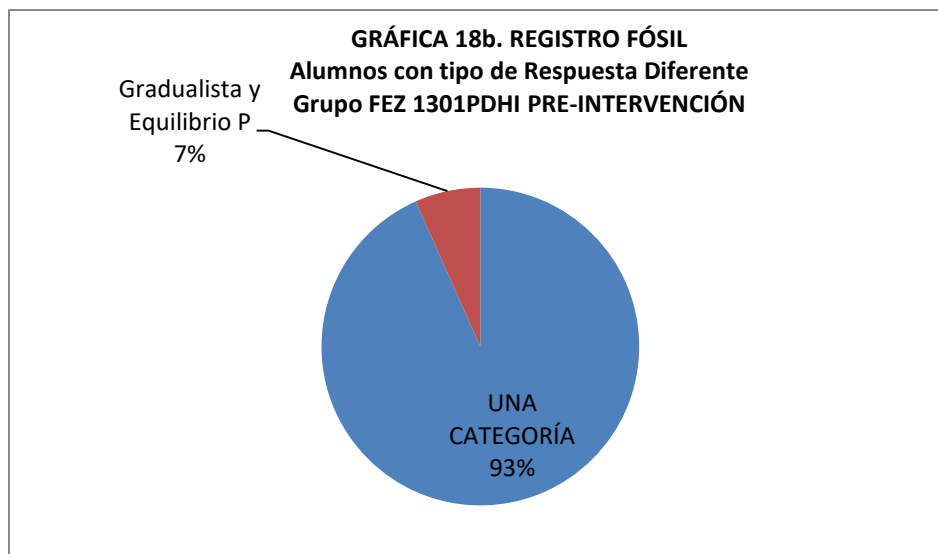
Comparando con los porcentajes registrados en la licenciatura en general, tenemos que el 84% de respuestas resultaron gradualistas y el 6% de la combinación gradualistas más puntualistas. Que no es muy alejada de la situación del grupo control.

La situación en el grupo intervención PDHI es la siguiente:

**TABLA 18a. REGISTRO FÓSIL  
PORCENTAJE DE ALUMNOS  
CON TIPO DE  
RESPUESTA DIFERENTE GRUPO FESZ 1301  
PRE-INTERVENCIÓN/PDHI**

UNA CATEGORÍA	Gradualista y Equilibrio P
14	1

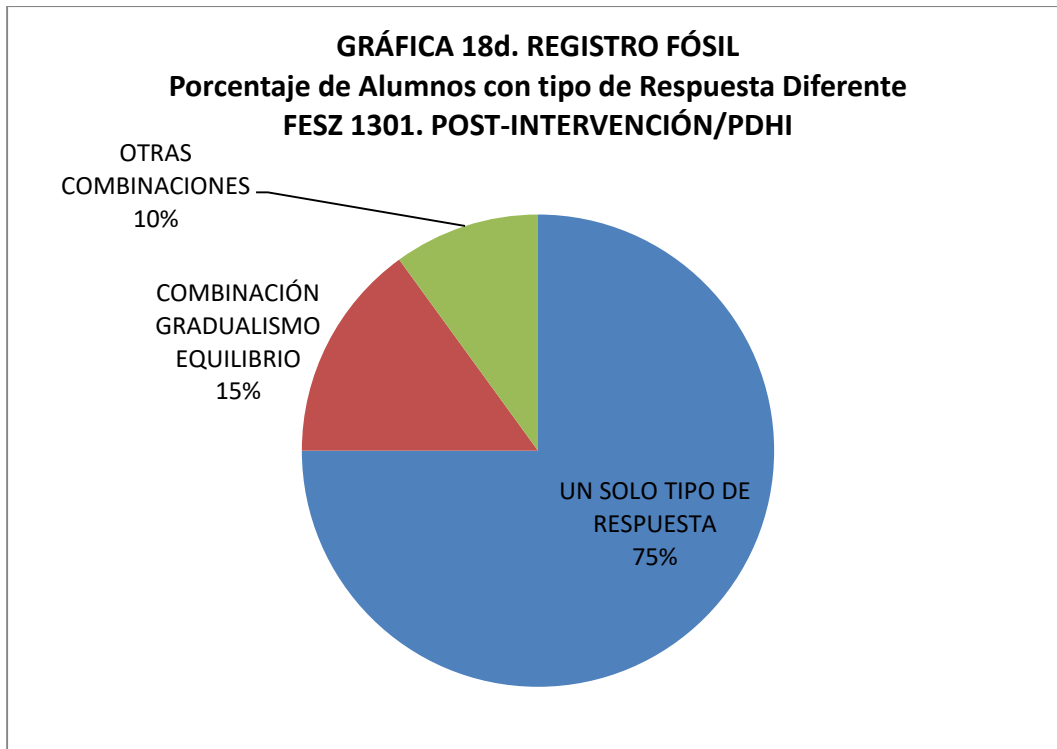
16 RESPUESTAS



**TABLA 18c. REGISTRO FÓSIL  
Porcentaje de Alumnos  
con tipo de Respuesta Diferente  
FESZ 1301 PDHI POST-INTERVENCIÓN**

	UN SOLO TIPO DE RESPUESTA	COMBINACIÓN GRADUALISMO EP	OTRAS COMBINACIONES
	15	3	2

N=25 RESPUESTAS VÁLIDAS



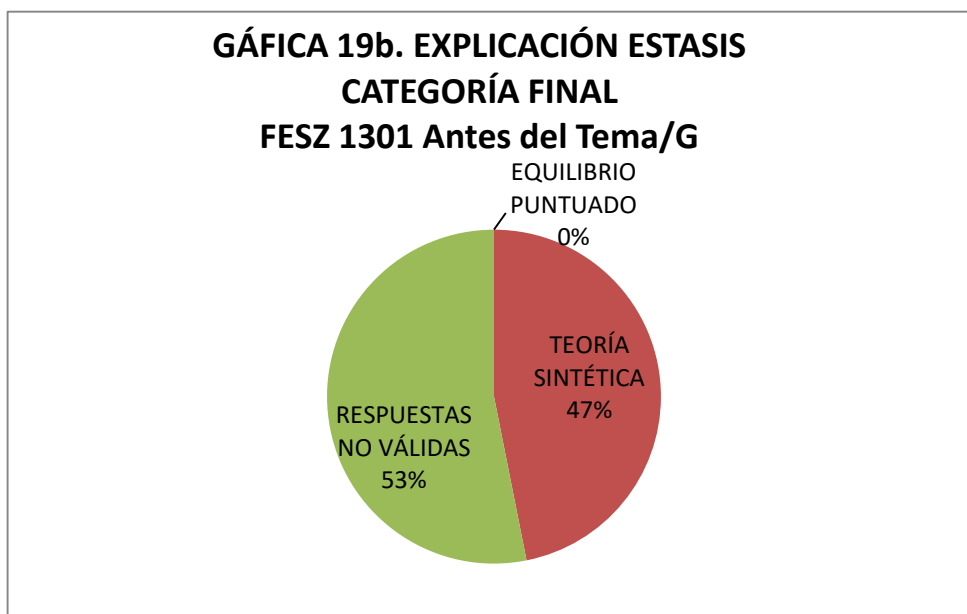
Como se puede advertir, el grupo inicia con un porcentaje elevado de respuestas con una única categoría, esto es, el 93% de respuestas gradualistas, y un porcentaje de 7% de respuestas gradualistas más puntualistas. No obstante, después de la intervención sí se logra advertir una modificación interesante, en la que los cuestionarios con un solo tipo de respuesta se redujeron a un 75% (que aún es muy elevado), pero se tiene un 15% de estudiantes que ya menciona la respuesta gradualista más la puntualista, y además un 10% que reportan otras combinaciones. Lo anterior es importante ya que apunta a que los estudiantes no están sustituyendo una perspectiva gradualista por otra, sino que más bien adoptan dos perspectivas para describir estos procesos.

## Estasis

Respecto a la estasis los resultados son los que se presentan a continuación.

**TABLA 19a. EXPLICACIÓN ESTASIS**  
**CATEGORÍAS FINALES**  
FESZ 1351. Antes del tema/Grupo Control

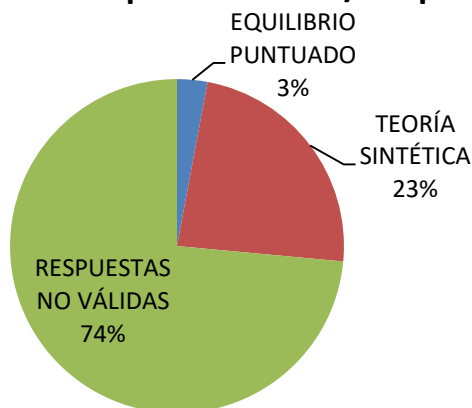
EQUILIBRIO PUNTUADO	TEORÍA SINTÉTICA	RESPUESTAS NO VÁLIDAS
0	15	17
32 Respuestas		



**TABLA 19c. EXPLICACIÓN ESTASIS**  
**CATEGORÍAS FINALES**  
FESZ 1351. Después del Tema/Grupo Control

EQUILIBRIO PUNTUADO	TEORÍA SINTÉTICA	RESPUESTAS NO VÁLIDAS
1	8	25
34 Respuestas		

**GRÁFICA 19d. EXPLICACIÓN ESTASIS  
PORCENTAJE POR CATEGORÍA FINAL  
FESZ 1351. Después del tema/Grupo Control**



En estos resultados tenemos que en el grupo control antes de la intervención el porcentaje de respuestas se divide únicamente en dos grupos, aquel que responde conforme la teoría sintética (47%), y el que apunta una respuesta no válida (74%), es decir una respuesta no compatible con el equilibrio puntuado o la teoría sintética. En este grupo no se registra alguna respuesta acorde con el puntualismo. Sin embargo, los resultados se parecen a los encontrados en el grupo general de la licenciatura, excepto que allí si aparece un pequeño conjunto de respuestas (6%) que son puntualistas.

Después de revisar el tema en clase, el porcentaje de respuestas no válidas aumentó a un 74%, mientras que el de teoría sintética se reduce a un 23%; pero aparece un conjunto de alumnos que acuden a la explicación puntualista para explicar la estasis, aunque sólo son el 3%. Es posible que cuando se trató la temática en clase se introdujera mayor confusión en las posibles explicaciones de los alumnos.

TABLA 19e. EXPLICACIÓN ESTASIS  
CATEGORÍAS FINALES  
FESZ 1301 Pre- Intervención. PDHI

EQUILIBRIO PUNTUADO	TEORÍA SINTÉTICA	RESPUESTAS NO VÁLIDAS
0	7	9

16 Respuestas

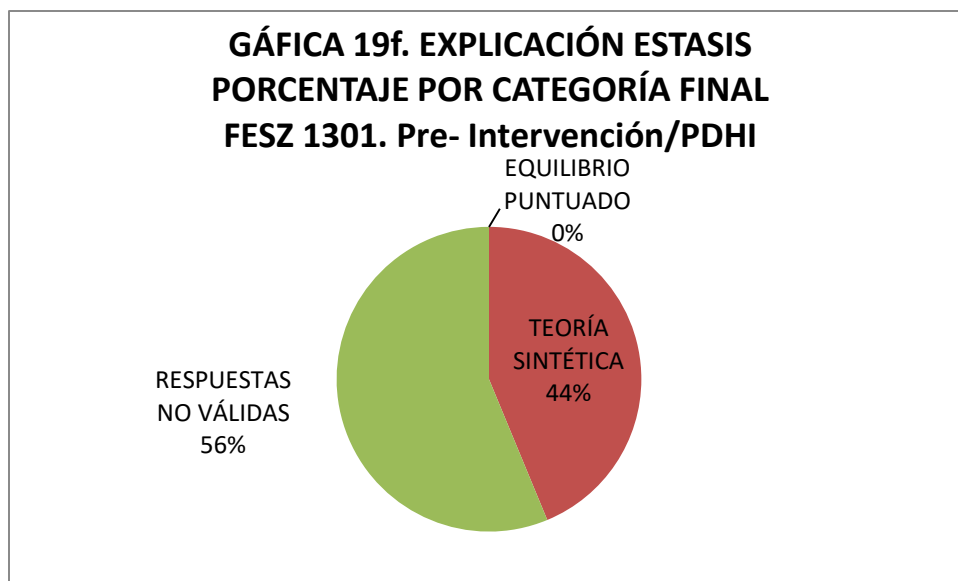
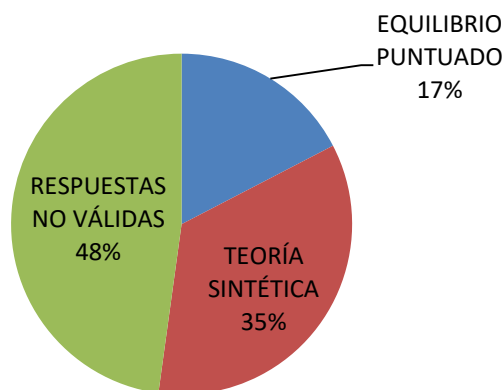


TABLA 19g. EXPLICACIÓN ESTASIS  
CATEGORIAS FINALES  
FESZ 1301 POST- INTERVENCIÓN/PDHI

EQ. P.	T.S.	RESPUESTAS NO VÁLIDAS
4	8	11

23 Respuestas

**GRÁFICA 19h. EXPLICACIÓN ESTASIS  
RESPUESTAS POR CATEGORÍA FINAL  
FESZ 1301. DESPUÉS INTERVENCIÓN/PDHI**



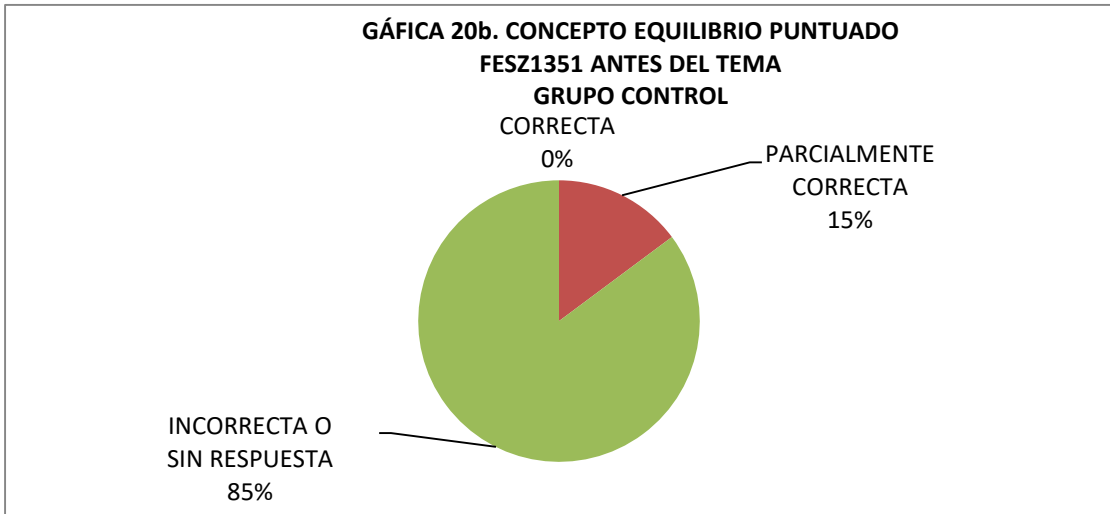
Pero si analizamos la situación en el grupo con intervención PDHI encontramos, que aunque en principio también las respuestas solo se dividen en no válidas (56%) y sintéticas (44%), posteriormente a la intervención PDH, las respuestas no válidas se presentan en 48% de los casos, aunque las de teoría sintética se reducen a un 35% y aparecen las del equilibrio puntuado con un 17% que es un porcentaje mayor que el de la licenciatura en general (que sólo es del 6%).

**Concepto de equilibrio puntuado**

En relación al concepto de equilibrio puntuado la situación es la siguiente:

TABLA 20a. CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO				
GRUPO 1351 ANTES DEL TEMA/ GRUPO CONTROL				
<b>3. La teoría del Equilibrio puntuado postula que</b>				
	CORRECTA	PARCIALMENTE CORRECTA	INCORRECTA O SIN RESPUESTA	NÚM. CUESTIONARIOS
SUBTOTAL	0	4	23	27
27 Cuestionarios				



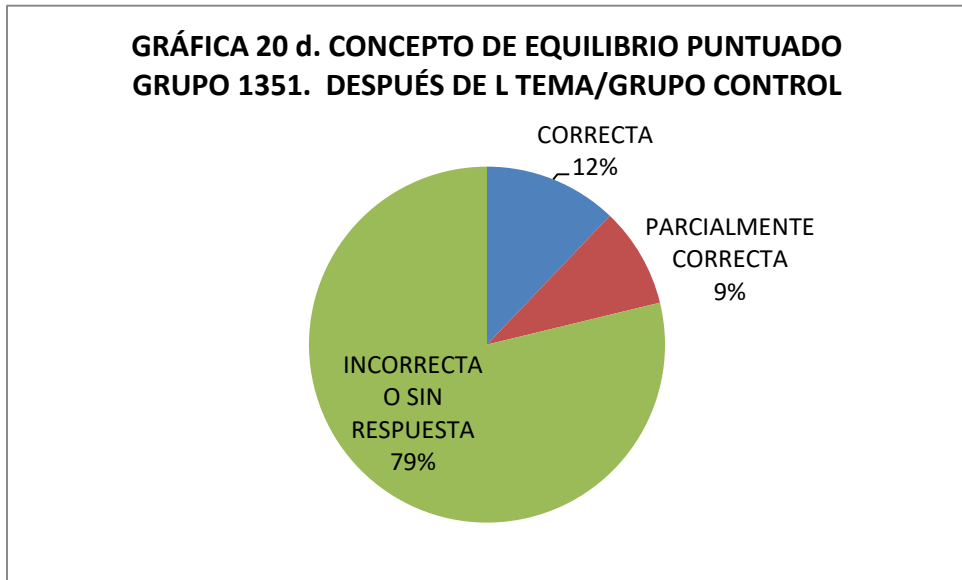


**TABLA 20c. CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO  
GRUPO 1351 DESPUÉS DEL TEMA/ GRUPO CONTROL**

**3. La teoría del Equilibrio puntuado postula que**

	CORRECTA	PARCIALMENTE CORRECTA	INCORRECTA O SIN RESPUESTA	NÚM. CUESTIONARIOS
SUBTOTAL	4	3	26	33

33 Cuestionarios

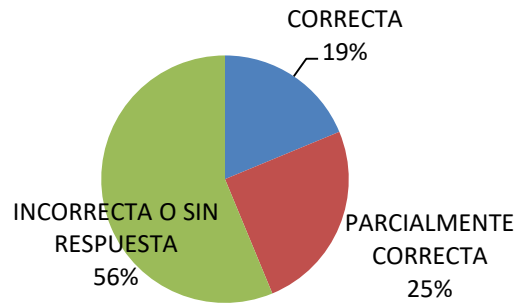


En el grupo control la situación antes de la intervención es que no se halla alguna respuesta correcta, sólo el 15% de ellas son parcialmente correctas, mientras que el restante 85% es incorrecto o no tienen contestación. Después de la revisión del tema en clase encontramos un 9% de respuestas correctas, un 12% de respuestas parcialmente correctas y un 79% de respuestas incorrectas. Situación que semeja a aquella encontrada en los grupos de la licenciatura en general (ver el gráfico 14b. Concepto de equilibrio puntuado).

En relación al grupo PDHI, al comenzar la intervención encontramos 19% de respuestas correctas, 25% parcialmente correctas y sólo 56% de respuestas incorrectas o sin contestación. Cuando se termina la intervención el 72% de las respuestas son correctas, 9% parcialmente correctas y únicamente hubo un 19% de respuestas incorrectas o sin contestación. Aquí se puede apreciar que en la segunda ocasión aumenta considerablemente el porcentaje de respuestas correctas, no sucediendo así con el grupo control.

TABLA 20 e. CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO			
GRUPO 1301. PRE- INTERVENCIÓN/PDHI			
<b>3. La teoría del Equilibrio puntuado postula que</b>			
CORRECTA	PARCIALMENTE CORRECTA	INCORRECTA O SIN RESPUESTA	NÚM. CUESTIONARIOS
3	4	9	16

**GRÁFICA 20f.  
CONCEPTO EQUILIBRIO PUNTUADO  
FESZ1301. PRE-  
INTERVENCIÓN/PDHI**



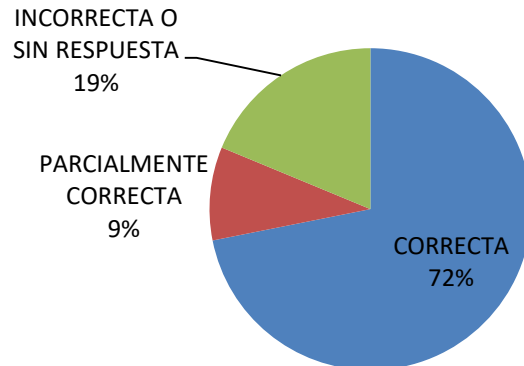
**TABLA 20 g. CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO  
GRUPO 1301. POST- INTERVENCIÓN/PDHI**

**3. La teoría del Equilibrio puntuado postula que**

	CORRECTA	PARCIALMENTE CORRECTA	INCORRECTA O SIN RESPUESTA	NÚM. CUESTIONARIOS
SUBTOTAL	23	3	6	32

32 Cuestionarios

**GRÁFICA 20h. CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO  
GRUPO 1301. POST-  
INTERVENCIÓN/PDHI**



Las respuestas a cuál es el concepto de equilibrio puntuado del grupo 1301 PDHI después de la intervención se clasificaron en un 72% como correctas; pero a pesar de este resultado, sólo el 28% emitieron una respuesta considerando al equilibrio para interpretar las brechas o lagunas en el registro fósil, el 48% de las respuestas fueron gradualistas, y el 24% no gradualistas, y solo el 15% manifiestan ambos criterios.

Y para la explicación de la estasis sólo el 17% de las respuestas consideraron el puntualismo. Así, aunque los alumnos conocían el puntualismo, y podían describir en que consiste el mismo, pocos lo consideraron para explicar las brechas en el registro fósil, o la estabilidad morfológica de los grupos.

La oferta de conocimiento al que estuvieron expuestos los estudiantes, como cuando se revisó el tema del equilibrio puntuado en el aula en los grupos de sexto semestre, no se constituyó en significativo para ellos; y cuando abordan algún problema como el de la estasis no lo incorporan.

No sorprende que el programa PDHI reporte una mejoría general de los resultados, en concordancia a diversas experiencias analizadas sistemáticamente que muestran que mediante aproximaciones constructivistas se propicia el desarrollo de habilidades y la transferencia de conocimiento significativo (Campos, 2008: 53).

Lo que no se esperaba es el bajo porcentaje de alumnos que, en esta experiencia, consiguen un aprendizaje significativo. Tal vez la teoría del equilibrio puntuado pueda resultar inteligible para algunos estudiantes, pero no resulta plausible para la mayoría. Y según se considera aquí, el verdadero aprendizaje ocurre cuando el alumno acepta la plausibilidad de la nueva concepción y la aplica consistentemente a la solución de nuevos problemas (Jiménez 1992 en Sánchez Mora, 2000: 32).

## **ANÁLISIS GENERAL**

Reconsiderando lo anterior, la mayoría de los alumnos que respondieron el cuestionario en esta investigación consideran a la macroevolución como un proceso lento, de muchos pequeños pasos y continuos, es decir gradual en el sentido darwiniano. La forma de estimar a las especies en el tiempo ya es contra intuitiva, es decir no las entienden como formas estáticas e inmutables sino que muy por el contrario, las interpretan como cambiantes y transformables.

Por lo tanto si deben explicar la razón por la que el registro fósil no presenta una serie de formas intermedias de las especies, sino más bien saltos o brechas, lo hacen de manera similar a los darwinistas. Adscriben las causas principalmente a las dificultades de los procesos de fosilización, a la lentitud del cambio de las especies, o a la falta de estudios paleontológicos, pero no consideran que pudieran haberse producido por procesos biológicos por sí mismos. Sólo una baja proporción de estudiantes se expresan como si las brechas o interrupciones de las series en el registro fueran reales y más bien fueran originadas por fenómenos biológicos; aquí la mayoría supone la existencia de procesos rápidos de cambio morfológico, y una minoría consideran la presencia de procesos de estabilidad. Ninguno de los interrogados señaló la presencia de ambos procesos; únicamente lo lograron conjuntar después de conocer la teoría del equilibrio.

Es importante mencionar que la teoría del equilibrio puntuado no está considerada en los programas de estudio de nivel bachillerato con la excepción del CCH, y cuando los alumnos ingresan a la licenciatura en Biología desconocen en qué consiste, según los datos aquí reportados únicamente uno de cada cien alumnos tiene conocimiento de la misma (Gráfica 14c. Concepto de equilibrio puntuado primero y segundo semestres).

Aún así, más de la mitad de todos los alumnos interrogados afirman que la estabilidad de las formas de las especies es común; aunque no logran incorporarla cuando interpretan el registro fósil. Respecto a las causas de la estasis o estabilidad de la forma en las especies, cerca del cincuenta por ciento emitieron una respuesta no válida para la ciencia, y una mayoría de los que respondieron válidamente (89%) apuntaron una contestación conforme a la teoría sintética; además fue la pregunta que mayor cantidad de contestaciones diferentes recibió (34 tipos). Cuando se aplicó la propuesta didáctica PDHI se observó una mejoría en los resultados comparados con el grupo donde no se aplicó, aunque no se logró que la mayoría de los alumnos expresaran tanto la perspectiva gradualista como la puntualista.

Tal vez la mejor situación encontrada aquí fue la interpretación del registro fósil, ya que las contestaciones gradualistas sólo fueron el 48%, dividiéndose el resto de las respuestas en 28% de puntualistas y 24% de procesos no gradualistas. La posición ideal sería que la mitad de las respuestas fueran gradualistas y la otra puntualistas.

Pero los datos que nos revelan mejor si tuvieron un aprendizaje significativo son referentes a los de los tipos de respuestas. En estas gráficas se contabiliza el número de alumnos con un solo tipo de respuesta (que fue la gradualista) y con dos tipos de respuesta (gradualista y puntualista) u otras combinaciones; pues bien, después de aplicar el programa PDHI aún el 75% de alumnos tuvieron sólo el criterio gradualista. Cabe comentar que en un principio la proporción fue de 93%, es decir hubo una notable mejoría. También estos resultados se pueden relacionar con la baja plausibilidad que los alumnos le conceden a la teoría del equilibrio puntuado, considerándolo como un dato anómalo.

Podemos retomar a Campos y Gaspar (1996:84) en un estudio acerca del “Modelo de análisis proposicional” que se aplica al estudio de la organización conceptual de los estudiantes, donde señalan que la mayoría de los estudiantes de cada grupo sólo responden acerca de la parte descriptiva, y los que tocan la parte analítica lo hacen de forma muy débil en general. Como lo reporta Alucema (1996:123) en un estudio sobre el concepto de diversidad celular aplicado a los estudiantes de primero, tercero y séptimo semestres de la licenciatura en Biología<sup>1</sup>, en donde el concepto se encuentra a un nivel descriptivo en todos los semestres.

Estos autores afirman que cuando únicamente se tiene una aproximación descriptiva al estudio de los procesos evolutivos, se originan problemas epistemológicos y cognoscitivos que se relacionan tanto con la falta de información como con los mecanismos lógicos subyacentes que permiten llegar a ellos. Esto es “...los procesos cognoscitivos que dejan de ponerse en operación por no contar con información adecuada, limitan o impiden la generación de organizaciones conceptuales apropiadas” (Campos y Gaspar, 1996:85).

Entonces cuando los estudiantes de la licenciatura en Biología sólo se quedan con una aproximación descriptiva de la teoría del equilibrio puntuado, no parecen asimilar el nivel fino de la explicación científica; entre otras cuestiones porque no han generado los mecanismos lógicos que conducen a ello, y dificultan que les parezca posible. En este caso podríamos sugerir que como los estudiantes no ostentan un nivel explicativo de la teoría del equilibrio (por ejemplo de la estasis como parte de la misma), se les dificulta constituir una organización conceptual de la macroevolución que incluya al equilibrio.

---

<sup>1</sup> Misma licenciatura y escuela de la población estudiada aquí.

El nivel explicativo del equilibrio puntuado se logra en muy pocas ocasiones, el no aprender este nivel puede conducir a interpretaciones equivocadas de la teoría, por ejemplo considerar a la estasis como estabilidad en el ambiente o causada por una ausencia de evolución; y a la puntuación como un salto morfológico sin pasos intermedios en lugar de una aceleración de procesos.

## **OTRAS CONSIDERACIONES**

### **Equivocaciones comunes sobre la TEP**

Ciertamente las ideas acerca de la evolución son mal interpretadas y persisten aún después de la instrucción en distintos niveles escolares como lo señala Hernández Rodríguez (2002:89). Los estudiantes aplican acepciones semánticas no usadas en ámbitos científicos a conceptos como adaptación, selección natural, mutación y variabilidad (Guillén Rodríguez Fedro 1997: 250), lo mismo sucede con los conceptos referentes al equilibrio puntuado.

En el contexto educativo es importante clarificar que está discutiendo una teoría científica, así como los términos técnicos que emplea, tal como lo refiere Esther Van Dijk, y Thomas Reydon (2010). Un análisis de conceptos puede ser de utilidad como una herramienta de enseñanza para los maestros en servicio o en preparación. Cabe aclarar que muchos de los conceptos aún se encuentran en debate en la filosofía de la biología. A partir de las contestaciones de los cuestionarios aplicados y otras preguntas formuladas a los alumnos, se pudieron identificar algunas interpretaciones erróneas comunes entre ellos, que se mencionan a continuación.



## Estasis como invarianza total

La estasis es un tema que no aparece frecuentemente en los programas de “Evolución” más que asociado con la teoría del equilibrio puntuado; sin embargo es común que los estudiantes la describan de forma distinta a la propuesta de la propia teoría.

Es común que el concepto de estasis lo asocien más bien con una **estabilidad**, y en ocasiones, como **una invarianza total**. A pesar de que el propio Gould señala que la estasis no significa invarianza temporal, y admite que los valores medios de las especies en estasis, fluctuarán a lo largo del tiempo, y por lo tanto, la población final no será idéntica a la inicial (Gould, 2004: 798). Más aún el mismo Eldredge junto a sus colegas publicó un artículo que se titula “La dinámica de la estasis evolutiva” (Eldredge y colaboradores, 2005).

Por ejemplo, el alumno FC 21 5176 dice que la estasis consiste en “periodos Donde (en) las especies no ocurre ningún tipo de cambios.”

## Inexistencia de estados intermedios y universalidad de grandes saltos

Otra de las concepciones comunes entre los estudiantes es que la teoría postula la **inexistencia de estados intermedios**, y la presencia de **grandes saltos**; cuando más bien se trata de la rapidez de los procesos, en la mayoría de los casos.

Como el alumno FC 007 5176 a la pregunta “La teoría del Equilibrio Puntuado postula que” responde “puede haber cambios macroevolutivos muy rápidos, prácticamente sin pasar por estados intermedios.” A la misma pregunta, el alumno FESI260314 responde: “En las poblaciones siempre hay una etapa en la que sus características son las mismas, y otra etapa en la que se generan cambios morfológicos dando origen a una nueva especie, no hay una fase intermedia entre las dos especies”. Y el alumno FC 16 5176 “Hay “saltos “en los cambios, no es continuo”. Mientras que el estudiante con clave FC 15 5176 escribe “Los cambios se dan por grandes saltos”.

Pero, ¿cuál es la explicación para algunos? Pues al preguntársele cuál es el proceso o procesos por el que las poblaciones llegan a presentar equilibrio puntuado, el alumno FESI260312 contesta “Por macromutaciones.”

Durante el desarrollo de las clases, algunos estudiantes no aceptaron al equilibrio puntuado como una explicación viable porque mencionaron que ellos no consideraban que una especie surgiera abruptamente de otra, sino que siempre una especie proviene de la modificación de otra (observaciones en clase). Aquí hay que aclarar que efectivamente, la teoría del equilibrio puntuado en general, no supone una aparición abrupta de estructuras, al contrario hay una continuidad de la formas. Sí existen una serie de poblaciones con una continuidad de formas, sólo que la velocidad de los cambios es tal que la mayoría de las ocasiones no se fosilizan todas los estadios. Esta falsa apreciación de la inexistencia de formas intermedias se puede subsanar un poco con la comprensión de velocidades y de continuidad de las formas. Sí es relevante señalar que el puntualismo no descarta procesos de cambio abrupto, sin estados intermedios, pero serían relativamente pocos casos.

## Equilibrio como balance en la naturaleza

A veces los estudiantes, al desconocer en qué consiste la teoría sólo señalan que puede existir un equilibrio en la naturaleza, quizá más cercano a un equilibrio ecológico. Tal como lo hacen constar las siguientes respuestas a la pregunta “La teoría del Equilibrio puntuado postula que”

El alumno FESI 260317 escribe “Todos los individuos tienen una serie de cambios morfológicos y fisiológicos, los cuales tienen como fin, establecer ciertos patrones que establezcan una armonía entre individuos y todo lo que los rodea”.

Y el estudiante FESZ 07 1201 afirmó “Los océanos se auto regulan, hay un equilibrio de especies y alimentos son una cadena alimenticia que permite el equilibrio, las cantidades adecuadas de temperatura y minerales”.

## Puntos conflictivos

### El concepto de especie

Un problema, y que no se resuelve sencillamente, sigue siendo el concepto de especie. En la exposición de uno de los grupos, un alumno insistía que los neanderthales y los *H. sapiens* eran la misma especie. No tenía mucha información sobre morfologías ni hibridaciones, pero argumentaba que hay *H. sapiens* actualmente que son muy robustos y que tienen arcos superciliares fuertes, por lo tanto ambas especies eran una misma. Cada evidencia que yo le exponía acerca de una separación entre ambas especies, el alumno la interpretaba a favor de su posición, y volvía a rebatir el punto. Por ejemplo, el mentón, la distribución geográfica, etc. Él estaba seguro que éramos la misma especie porque se cruzaron –cromagnones y neandertales – y solo nos separaban las ideologías antropocentristas, según sostenía.

En el ámbito académico, actualmente se reconoce que los neanderthales y nuestra especie forman dos linajes separados, el número y la magnitud de las diferencias anatómicas justifica su separación (aparte de otras evidencias como la genética); sin embargo su clasificación, desde su asignación a la especie *Homo neanderthalensis* (King 1864) fue objeto de intenso debate (Harvati, 2010: 372).

Esta situación se presenta frecuentemente en el aula, difícilmente los estudiantes pueden establecer criterios objetivos para la separación de especies, sobre todo si se trata de especies que transcurren en tiempos geológicos extensos, y que unas originan a las otras. La confusión se presenta tanto en el caso de organismos procariontes como eucariontes; ya se trate de vegetales, o animales, sean especies vivientes o fósiles. La pregunta sigue siendo la misma, es decir cuándo una especie deja de ser ella y se convierte en otra, que tanta diferencia debe existir, ¿es posible separarlas?

En este dilema nos alumbra un poco el equilibrio puntuado cuando señala que buena parte de la historia geológica de muchas especies permanece en una estasis evolutiva, y que el tiempo de duración de las mismas se puede establecer dependiendo del linaje. Más adelante se volverá a tocar el tema en este trabajo.

## Los niveles evolutivos

Existe una falta de claridad en los estudiantes entre los niveles individual, poblacional y de especie como también lo consigna Sánchez Mora (2000:3). En esta investigación, se registraron constantes confusiones en el aula, acerca de los niveles de individuo, población y especie. Si un proceso se presenta en un nivel individual, no se consideran las consecuencias a nivel poblacional, y mucho menos a nivel de especie; por ejemplo, si a nivel molecular se presenta deriva génica en ciertos genes, no se entiende lo que pasa en la población, o las consecuencias en la especie.

Como el alumno FESZ 2401 10 que contesta así a la pregunta del Equilibrio Puntuable “A partir de un organismo o especie se presenta un cambio o un clado, entonces esta especie tuvo un cambio, pero por un lapso de tiempo la especie tiene un período de estasis y luego se presenta otro punto de cambio y nuevamente otro período de estasis.”

## Adaptación y exaptación

El proceso de exaptación también les crea confusiones, los alumnos no saben si una exaptación es siempre una adaptación, o si cuando surgió era necesariamente una adaptación. No separan el origen de la adaptación, su forma y su función pasadas y las presentes.

Es conocido que existen dificultades en la comprensión del concepto de “adaptación” (*González Galli 2010:229 y siguientes*), aquí se detectó una mayor complicación al abordar el concepto de exaptación, que resulta ser una elaboración y precisión respecto a la adaptación. Algunos alumnos

afirman que las exaptaciones únicamente provienen de otras adaptaciones, sin considerar que pueden originarse por estructuras colaterales resultado de la construcción de otros rasgos en evolución, sin ser ellos mismos adaptativos (llamados en el equilibrio puntuado enjutas o antepecheras). El caso más célebre se presenta en el mentón humano, cuya forma no se seleccionó por alguna ventaja en sí misma, sino por la diferencia en las velocidades de retraimiento de la parte superior en relación a la parte inferior de la mandíbula inferior humana.

Otro error detectado durante las observaciones en clase fue que no encuentran una diferencia entre una adaptación y una exaptación considerando que son lo mismo; es decir todas son adaptaciones por igual.

Por ejemplo el alumno FESI2601 23 al preguntársele “Cuando una estructura se origina por selección natural, por ejemplo los dedos de los tetrápodos, posteriormente pueden cambiar de función. Argumente su respuesta” contestó “podría decir que sí, pero no necesariamente es que cambie la función sino que también les sirven para otras cosas pero no es que cambien la función. Ejemplo poder volar en aves”.

Una sugerencia cuando se imparten las clases, es que se separe nítidamente forma de función en los caracteres, dar ejemplos y contraejemplos.

### La consideración del tiempo

Los estudiantes tienen problemas con las escalas de tiempo, puesto que algunos mencionaron que los cambios macroevolutivos se llevan cientos, miles o millones de años, no hay una diferencia para su consideración.

María del Carmen Sánchez Mora (2000: 96) consigna que “Los estudiantes no toman en cuenta las escalas de tiempo al hablar de evolución, extrapolan indistintamente los cambios individuales durante periodos cortos a cambios en poblaciones a lo largo de muchas generaciones”. Hay algunos autores que consideran que antes de abordar el tema de la evolución en la escuela secundaria hay que enseñar al menos conceptos como el tiempo geológico y algunos temas de genética (Jeffeery y Roach, 1994 en Sánchez Mora, 2000: 3).

El manejo del tiempo les puede ocasionar conflictos ya que mil generaciones de los pinzones (refiriéndome a la pregunta de los pinzones), para algunos es poco tiempo para notar cambios morfológicos, pero para otros resulta mucho. Por ejemplo a la pregunta “En el caso de los pinzones de Darwin, si estudiamos dos especies hoy, y dentro de mil generaciones otra vez, esperaríamos encontrar mayor diferencia morfológica entre ambas en la última ocasión” se contestó de la siguiente forma:

FESZ 1102 14 “que ha pasado mucho tiempo, y los cambios en su ecosistema pueden influir en su evolución”, mientras que el alumno FESZ 1102 01 escribió “que es muy poco tiempo para cambios tan radicales”. Ambos estudiantes pertenecen al mismo grupo escolar.

## **OBSTÁCULOS**

### Esencialismo

La mayoría de la gente no parece entender el proceso evolutivo como ha sido descrito por los científicos, aún después de haberlo estudiado (Bishop y Anderson, 1990), y gran parte de los estudiantes parecen creer en la evolución debido al peso de la ciencia, -que lo avala- y no por el entendimiento y razonamiento de la misma (Lucas, 1987 en Guillen Rodríguez, 1997: 118).

Tanto el diseño teleológico como el esencialismo psicológico constituyen importantes obstáculos conceptuales en el entendimiento de la evolución (Kampourakis 2014: 493). Las pre-concepciones de los estudiantes pueden deberse a su ambiente intelectual y cultural donde priva el diseño (designio, plan), o la forma de pensar antropocéntrica y la carencia de conocimiento de los hechos (Kampourakis y Zogza, 2007).

Se ha dicho que los niños y jóvenes inician su formación científica con su propio acervo de explicaciones sobre los fenómenos naturales (Sánchez Mora, 2000: ix). Sabemos que los alumnos de jardín de niños, primaria y secundaria creen intuitivamente que las características de los seres vivos son fijas (Kampourakis, 2014; Kampourakis y Minelli, 2014).

Si bien se reporta una fuerte evidencia acerca de que los niños piensan sobre los organismos en términos de esencias subyacentes incambiables (Kampourakis, 2014: 86), Guillén Rodríguez (1997:241) encontró que los estudiantes de secundaria y bachillerato en México, comprenden que las plantas y los animales han cambiado a lo largo del tiempo.

Los resultados reportados aquí concuerdan con esto, puesto que confirman que los alumnos de la licenciatura en Biología admiten una transformación gradual de los organismos. Es claro que tienen ya una perspectiva contra intuitiva puesto que cuando se confrontan con un registro fósil que no tiene una secuencia continua de transformación de fósiles, asumen que esto se debe a un problema con el registro mismo u otras causas no atribuibles al proceso de cambio, ya que ellos esperarían encontrar procesos lentos, continuos y con un flujo constante.



Esto es muy importante ya que nos facilita la comprensión de un parentesco consanguíneo entre los seres vivos, y del cambio de las formas por pasos leves. Dicha perspectiva gradualista la admiten para procesos que ocurrieron en el pasado, pero también para los que ocurren actualmente u ocurrirán en el futuro.

Por ejemplo al alumno FESZ 051 1102 a la pregunta “En el caso de los pinzones de Darwin, si estudiamos dos especies hoy, y dentro de mil generaciones otra vez, ¿esperaríamos encontrar mayor diferencia morfológica entre ambas en la última ocasión?” contesta: “No muchas diferencias”, debido a que “a pesar de que se darían ligerísimos cambios entre generaciones, requeriría mucho más tiempo observar un cambio notable”.

Por otra parte, en nuestro país, la sección de “Biología 1” del libro de secundaria obligatoria incluye lo relativo a la evolución de las especies y trata temas como Darwin, el registro fósil, los pinzones de Darwin, y la adaptación. Es posible que los estudiantes de secundaria hayan formalizado la perspectiva del cambio de las especies, desde esta etapa.

Algunos autores como Guillen Rodríguez (1997:119) y Sánchez Mora (2000:16) han reportado que para los estudiantes, el cambio de características de una especie, se da de manera gradual entre una generación y otra; aquí se encontró que no solamente se contempla a una escala microevolutiva, sino a una escala macroevolutiva, puesto que es lo que afirman que sucede a escalas geológicas. Esta perspectiva coincide con lo que sustenta el gradualismo darwiniano.

Para Kampourakis (2014:89) el esencialismo (la perspectiva donde se afirma que las especies son entidades inmutables que tienen esencias incambiables), es un obstáculo para entender la evolución, y se presenta una tendencia a enfatizar los límites de las categorías (las especies) que dificulta la comprensión de la ancestría común.

En esta investigación se sustenta que los estudiantes de licenciatura en biología consideran que las especies se transforman en el tiempo de manera gradual, y que esta perspectiva acentúa la problemática de definición de las especies en los alumnos; es decir se desdibujan los límites para decidir cuándo una especie que se va transformando gradualmente en el tiempo ya cambió suficiente para decir que son dos especies distintas; y aún más, si la especie tiene una realidad tangible o solo hay un nominalismo.

Cuando se formularon las siguientes preguntas a los estudiantes:

¿Qué es más fácil de encontrar en el registro fósil, una misma especie que se transforma en otra, o una especie que da origen a dos?

El alumno 14 5176 FC contestó

“una que se transforma en otra”. Porque “es más fácil atribuir que las características de un organismo en el registro fósil tiene un parentesco con otra debido a características que comparan, pero ¿cómo saber cuándo una especie ha dejado de ser otra y es una nueva?”;

Mientras que el alumno 04 5176 FC escribió

“No sé, porque el problema radica en el concepto de especie”.

Nos encontramos de frente con el problema de definir a las especies, que entonces se acentúa, ya que los linajes en el tiempo se transforman gradualmente. Parece que en este momento los alumnos no tienen una solución fácil para este problema. Como ya se mencionó, para Darwin el gradualismo consiste en un proceso que debe tener una continuidad histórica de materia e información, debe pasar por una larga secuencia de pasos intermedios imperceptibles, y el flujo continuo es el estado usual en la naturaleza; estas consideraciones también las suelen asumir los estudiantes.

La problemática de la definición de especies, según se constata aquí, permea desde los círculos académicos hasta las aulas, siendo intermediarios importantes los libros de texto y los maestros que imparten las clases. Y a pesar de que durante todos los estudios de licenciatura, los biólogos trabajan con especies, y reciben influencias de muy diversos profesores, parecería ser que terminan sus estudios sin resolver satisfactoriamente el problema.

Si bien, la mayoría de los estudiantes en este punto ya no son fijistas, su paso al gradualismo los encara a un continuo de formas, cuya separación en especies definidas no es clara; por lo que tienen muchas dudas acerca de la forma de definir a las especies en el tiempo geológico. Como nos lo hace saber el alumno 04 5176 FC (cuya respuesta acabamos de reproducir) que está terminado el sexto semestre de la carrera de Biología.

## Teleología

Tanto el diseño teleológico como el esencialismo psicológico se reconocen como importantes obstáculos conceptuales en el entendimiento de la evolución (Kampourakis y Minelli, 2014:493); más aún la comprensión de la teleología es relevante para la educación debido a que se ha considerado el mayor obstáculo conceptual para el entendimiento de la Biología en general y de la evolución en particular (Kampourakis, 2013:423). Se ha encontrado que los estudiantes tienden a explicar el origen de los caracteres biológicos en términos de finalidades o necesidades, esto se ha etiquetado como una concepción lamarckiana, pero esto realmente enmascara su naturaleza teleológica (Kampourakis, 2013:424).

El tema de los obstáculos epistemológicos como formas de pensamiento que impiden el aprendizaje de la evolución lo desarrolla Leonardo González-Galli en su tesis doctoral (2011: 433 y siguientes) concluyendo que el de mayor consideración es el que denomina la teleología de sentido común, otros dos serían el causal lineal y el centrado en el individuo.

De acuerdo con algunas investigaciones (Crider, 1981 en Cubero 1998), los niños y niñas menores de 11 años dan a los órganos funciones estáticas como, por ejemplo, *el cerebro sirve para pensar o los pulmones sirven para respirar*, es decir, a cada órgano se le asigna una función, un “telos” o finalidad.

Para los estudiantes de secundaria, Kampourakis y Zogza (2008), investigando las explicaciones de los procesos evolutivos, destacaron la falta de conocimiento de los conceptos evolutivos importantes, como la ascendencia común y la selección natural, pero encontraron que las causas finales, fueron la base para la mayoría de las explicaciones de los estudiantes.

En México, en el nivel medio superior, Sánchez Mora (2000:172) encontró que con la enseñanza tradicional, los alumnos cambian sus respuestas de lamarckianas a teleológicas. Entonces los alumnos posiblemente se movieron de una teleología de diseño a una basada en la selección natural, esta distinción es importante. Para el caso de los estudiantes de licenciatura como ya tienen instrucción escolar sobre la evolución, eligen como explicaciones sobre los organismos, las teleológicas basadas en la selección.

Como cuando a los estudiantes se les formuló la siguiente pregunta “en el caso de los pinzones de Darwin, si estudiamos dos especies hoy y dentro de mil generaciones otra vez, ¿esperaríamos encontrar mayor diferencia morfológica entre ambas en la última ocasión?”: el alumno FESZ022 1102 contestó que “sí”, debido a “que el mundo está cambiando a pasos gigantescos y los efectos del cambio climático están presentes en todos lados, por lo cual cualquier especie tendría que variar, que cambiar para adaptarse a un nuevo entorno”.

Mientras que el alumno FESZ050 1102 contestó “sí” debido a que la “Selección natural y a la evolución se deben ir adaptando a los cambios de clima para poder seguir viviendo”. El alumno FESZ 2201 18 contestó “Depende”, debido a que “(En) el ambiente, los organismos se van adaptando para sobrevivir conforme su hábitat se lo va exigiendo”.

Las tres contestaciones hacen referencia a que se tiene un fin o una meta determinada. En el primer caso sería la adaptación, puesto que “cualquier especie tendría que variar, que cambiar para adaptarse”. En el segundo caso sería la sobrevivencia ya que “(los pinzones) se deben ir adaptando... para poder seguir viviendo”, esa es su finalidad, lo mismo que en el último caso.

La manera en que contestan los estudiantes nos refiere a que los procesos evolutivos tienen una finalidad, como que las especies varían para adaptarse, en lugar de señalar que debido a que las especies varían es posible adaptarse; o que los organismos se van adaptando para sobrevivir, en lugar de afirmar que debido a que los organismos están adaptados pueden sobrevivir. Esto es a lo que González-Galli (2011) denomina teleología de sentido común, y que se encuentra presente en los alumnos de licenciatura.

El pensamiento teleológico puede verse reforzado por los libros de texto, o el empleo en la clase de expresiones como “el mejor adaptado” o “la supervivencia del más apto”; pero también coincidimos en que la biología está llena de expresiones teleológicas (Guillen Rodríguez, 1997: 120, 121). Entonces esto predispone a una forma de pensar sobre los organismos y los caracteres como algo con propósito; de aquí que se dificulte entender plenamente el proceso evolutivo.

En este momento habría que aclarar que el supuesto teleológico que guía el razonamiento sobre los seres vivos, en los estudiantes, no implica necesariamente supuestos intencionales, antropológicos o sobrenaturales acerca de los fenómenos explicados, en esto concordamos con González-Galli (2011:469); no hacen referencia a un diseño con propósito, sino a una teleología basada principalmente en la selección natural o en procesos evolutivos.

La teleología de sentido común, como obstáculo epistemológico, se encuentra presente en numerosas respuestas obtenidas en este estudio, y en este sentido dificulta la comprensión del equilibrio puntuado debido a que es mejor suponer que para alcanzar una meta o finalidad debemos recorrer paso a paso un camino continuo (gradualmente), que nos aproxime cada vez más a nuestro objetivo; que suponer un camino con múltiples procesos azarosos (equilibrio puntuado) que nos desvíen del trayecto para alcanzar un objetivo terminal.

Por ejemplo, el aprendizaje del concepto de **exaptación** implica asumir que en ocasiones, las características de las especies se originaron no únicamente por procesos selectivos, sino que también se constituyeron como productos colaterales de otros caracteres seleccionados. Este es un resultado inesperado desde el punto de vista teleológico. Concretamente la comprensión de procesos como la preadaptación o exaptación se facilitaría si asumimos que muchas estructuras orgánicas se originan por algún proceso que ocurrió incidentalmente.

### Razonamiento causal lineal

En la presente investigación se sigue la moción de Talanquer (2010, en González-Galli, 2011) que se refiere a este obstáculo como *la tendencia a estructurar y analizar la evolución de un sistema como una cadena lineal de eventos (historia o cronología)*. Cabe aclarar, que este autor lo denomina como “secuenciación lineal”.

Este tipo de razonamiento secuencial se aprecia en los resultados desde la primera pregunta<sup>2</sup> en la que se plantea que se explique la razón de que en el registro fósil de una localidad no se observe una secuenciación lineal entre los fósiles, a lo que el 76% de las respuestas mencionaron procesos que obstruyen la apreciación de la secuenciación de los fósiles (ver gráfica 5b y 7a), negando implícitamente otros ordenamientos no lineales.

Cuando analizamos las categorías intermedias, nos percatamos que la respuesta más frecuente en todos los casos fue la “falta de fósiles en el registro, y dificultades en los procesos de fosilización y en su estudio” (gráficas 3b, 15a, 15b, 15c, y 15d); es decir para los alumnos resulta más creíble que falten fósiles en el registro, a que la formación de las especies en un estrato no sea secuencial. Es posible que también se relacione con este tipo de pensamiento secuencial, las respuestas de los alumnos a la segunda pregunta<sup>3</sup> donde se inquiriere sobre la explicación del proceso de la estasis (estabilidad), ya que se obtiene un alto porcentaje de explicaciones (48%), que no son válidas o compatibles con la ciencia (gráfica 11).

Se esperaría que el razonamiento causal lineal obstaculizara el aprendizaje de cualquier modelo científico que implicara pensar en términos de interacciones complejas entre diferentes factores causales, tal como sucede con la teoría del equilibrio puntuado.

Pues bien, Se ha postulado la existencia de una jerarquía de elementos cognitivos (González-Galli, 2011: 563) que pertenecen a distintos niveles

---

<sup>2</sup> La primera pregunta fue “Al revisar el registro de fósiles de una localidad, es posible que no se observe como una especie ha cambiado gradualmente en otra, esto puede deberse a

<sup>3</sup>La segunda pregunta fue “Algunas especies como las cucarachas han experimentado pocos cambios morfológicos durante millones de años, esto se puede deber a...”



representacionales. Los más básicos serían los obstáculos que serían los más profundamente arraigados en la estructura cognitiva, los más generales, los más transversales, los más inconscientes, pero menos evidentes, (para nuestro caso, la teleología de sentido común y el razonamiento causal lineal). En el siguiente nivel se encuentran las concepciones, que suelen ser menos generales, más cercanas al nivel consciente, a una formulación explícita, vinculadas a un contexto nocional particular y que ocupan el mismo "nicho ecológico" que el conocimiento científico (el gradualismo, puntualismo o una perspectiva pluralista causal). El último nivel lo ocupan las respuestas concretas de los estudiantes, es el nivel más explícito, visible y definido (categorías intermedias).

## **PROBLEMAS CON LAS TEORÍAS Y CONCEPTOS**

En ocasiones se asume que las teorías, o los modelos científicos están claramente formulados, sin ambigüedades ni contradicciones, que están terminados y son aproblemáticos, nada más lejos de la realidad (Folguera y González-Galli, 2012).

Uno de los proponentes principales de la teoría sintética, Ernst Mayr aceptó que aún existen controversias no resueltas como la de la especie, la naturaleza de la selección, el reduccionismo y algunas más (2006:10). Otros aspectos en debate son el gradualismo, la preponderancia de la selección natural frente a procesos estocásticos, el programa adaptacionista, la explicación al comportamiento altruista, la relación genotipo-fenotipo, el reduccionismo genetista, por ejemplo. Autores como Eldredge han señalado que la síntesis evolutiva es incompleta y parcialmente incorrecta (1997:20, 25).

Por su parte la teoría del equilibrio puntuado, a su vez, no está exenta de problemas, ya que no explica porque los cambios morfológicos se agrupan en el momento de la especiación o cladogénesis, la forma como se hace la selección de especies, la existencia de individuos legítimamente darwinianos, la presencia de un mecanismo que fundamente la autonomía de la micro y macroevolución, entre algunos puntos. Por ejemplo, Cachón y Barahona (2002:96) trabajan sobre la controversia entre la teoría del equilibrio puntuado y el neodarwinismo, y reconocen que el equilibrio puntuado ha hecho importantes aportaciones a la biología evolutiva, tanto teórica como empíricamente. Señalan, sin embargo, que el neodarwinismo ha incorporado a su cuerpo teórico las principales ideas del equilibrio puntuado (la estasis, la evolución por especiación, los diferentes niveles jerárquicos en la evolución, y la importancia de las constricciones en el desarrollo para la evolución de las especies), pasando a ser una teoría de rango medio (Cachón, 2003:253, 254).

Estamos de acuerdo en que actualmente la síntesis evolutiva está transitando un proceso de revisión y ampliación que implica complejos debates en el campo de la biología evolutiva. Ya que se están cuestionando al menos parcialmente algunos de sus pilares teóricos, es pertinente preguntarnos en qué medida perderá su centralidad el modelo de evolución por selección natural y qué contenidos priorizar en su aprendizaje. (González Galli. y Meinardi, 2013: 220). Si bien se reconoce que la selección natural es la única explicación aceptada actualmente de la adaptación biológica.

Las nuevas evidencias y conceptos de la biología molecular, del desarrollo, de la sistemática, de la geología y del registro fósil de todos los grupos de organismos, así como la gran cantidad de datos biológicos acumulados actualmente, necesitan ser reevaluados, dimensionados e incorporados en una nueva teoría más completa y predictiva, pero sobre todo una que sirva de marco

de referencia para la solución de los acrecentados retos que enfrentan los seres humanos.

El cuestionamiento pertinente sería, qué habría que enseñar y cuál es la justificación de su inclusión en la enseñanza; por supuesto la respuesta deberá considerar las finalidades de ésta.

## **SUGERENCIAS DIDÁCTICAS**

Aquí se enlazan muchos aspectos que finalmente se hacen presentes en la enseñanza de la ciencia y en particular en la de la teoría evolutiva como son: las polémicas y discusiones científicas acerca de distintas teorías, modelos y conceptos, la velocidad de aparición de una inmensa cantidad de datos que deben ser explicados, la interpretación de los autores de los libros de texto, la amplia gama de formas de enseñar de los docentes, (sin contar con sus propias creencias, filiaciones, actividades y conocimientos) y las distintas formas de aprender del estudiante, entre otros aspectos. Y no es que no se presenten en otros niveles educativos, sino que aquí algunos elementos se hacen más evidentes.

Si bien, en la licenciatura no se pretende formar especialistas de cada área, sí se busca que los estudiantes adquieran una perspectiva evolutiva sólida y robusta desde donde puedan analizar el fenómeno de la vida. Para ello también son importantes las concepciones que el maestro posea sobre la ciencia, ya que como se ha señalado (Sánchez Mora, 2000:ix, Soto-Sonera, 2009), éstas rigen sus prácticas pedagógicas. Es indispensable que los estudiantes comprendan qué es la ciencia y cómo trabaja.

No hay que olvidar que los maestros deben estar actualizados, respecto al desarrollo de las distintas explicaciones teóricas sobre la evolución, ya que como señalan González Galli y Meinardi (2013: 219), muchos docentes (sobre todo de enseñanza media) manifiestan una escasa comprensión de los nuevos modelos en discusión y de cómo éstos se relacionan con aquellos en los que se basa la síntesis, lo que los lleva, en algunos casos, a considerar que el modelo de evolución por selección natural no debe ser enseñado porque ha perdido vigencia. Esto sería un lamentable error, porque como se señaló en el marco teórico, el núcleo de la teoría extendida, continua siendo darwiniano.

Debido a que la nueva propuesta de la síntesis extendida incluye áreas del conocimiento tan variadas como la biología molecular, epigenética, genética clásica, genética poblacional, biología del desarrollo, sistemática, paleontología, ecología, etc. no se pretende que los profesores sean especialistas en todas las áreas que comprende la propuesta, pero sí en las zonas de intersección de las mismas.

En la presente investigación se sostiene que el pensamiento darwiniano, y el sintético no bastan para entender la evolución orgánica, es necesario incluir otras explicaciones como el equilibrio puntuado.

Se sugiere que para mejorar la comprensión de la teoría del equilibrio puntuado es indispensable integrar forma y función. Integrar las explicaciones de evolución por simbiogénesis para el origen de la célula mitótica, los genes Hox o la duplicación de módulos, los genes de polaridad o las formas abstractas redondas, pero sobre todo el incluir la teoría de evo-devo, aporta datos que sustentan cambios evolutivos rápidos, -que incluso se pueden reproducir en un laboratorio- que pueden explicar el origen o aparición abrupta de grupos o estructuras

diferentes, sin una interminable cadena de formas intermedias. El cambio evolutivo puede venir de dentro, no solo de fuera (Kampourakis y Minelli, 2014:493).

Una de las cuestiones importantes que deben entender los alumnos es que las mutaciones no siempre dan cambios pequeños en los individuos y que los efectos grandes también deben ser viables; es decir cambios pequeños en el genoma no dan siempre como resultado pequeños cambios (graduales) en la morfología de las especies.

## **POR QUÉ ENSEÑAR EQUILIBRIO PUNTUADO**

Tal como se ha señalado anteriormente, el paradigma de la teoría sintética ha penetrado tan profundamente en la cultura occidental, respecto a la explicación del cambio biológico, que es extremadamente difícil contemplar otros enfoques, como afirman Moya y Latorre (2004: 190); ya que se presenta como una teoría cerrada, agotada y panexplicativa.

Para muchos autores de la teoría sintética, la macroevolución puede contemplarse como una extensión de la microevolución pero a largo plazo, esta consideración también ha derivado en una restricción de la enseñanza en la biología evolutiva, al tratamiento de la evolución por selección natural en detrimento de los procesos macroevolutivos y de los principales eventos de la historia de la vida (Folguera y González-Galli, 2012:11).

La endosimbiosis serial, la transferencia lateral de genes, los ritmos cambiantes del proceso evolutivo, la influencia de los patrones de desarrollo y los procesos de herencia no basados en DNA son temas de interés que enriquecen la perspectiva

científica sobre la evolución biológica, ya que se ocupan de factores evolutivos que la teoría sintética relegó a un segundo plano o ignoró (Folguera y González Galli, 2012).

Por ejemplo Massimo Pigliucci señala que:

Es poco claro para mí por qué varios biólogos que se suman a una interpretación estricta de la Teoría Sintética son francamente hostiles a la idea de que la selección natural podría verse facilitada por las propiedades inherentes de los organismos vivos.<sup>4</sup>(2009: 224).

Y añade que una de las principales razones de la resistencia de los sustentantes del modelo estándar para aceptar la teoría Extendida es que generalmente reduce el poder de la selección natural debido a un papel expandido de fenómenos como la emergencia, la plasticidad, y la estasis macroevolutiva (Pigliucci 2009:225).

Como siempre ocurre en ciencia, el desarrollo y puesta en escena de una nueva teoría no es tarea fácil, pues abrirse hueco y tratar de explicar de forma alternativa y, probablemente más correcta, lo que explicaba otra, no es cuestión trivial (Moya y Latorre, 2004:188).

Por supuesto un cuestionamiento importante, en el ámbito educativo, es por qué enseñar la teoría del equilibrio puntuado. Algunas de las razones que podemos encontrar para ello se enumeran a continuación.

---

<sup>4</sup>It is entirely unclear to me why several biologists allied to a strict interpretation of the MS are downright hostile to the very idea that natural selection might be facilitated by inherent properties of living organisms.

1. Nos muestra cómo funciona la ciencia

Generalmente se enseñan las teorías como algo acabado, sin mostrarse su temporalidad, transformación o pugnas, elevándoseles incluso a leyes. Tal como lo indica Rosaura Ruiz (1996:21) “Un ejemplo en biología es la teoría de la selección natural, que ha llevado al desconocimiento de otros mecanismos de evolución y por lo tanto a conceptos seleccionistas y adaptacionistas”. El incluir la teoría del equilibrio puntuado puede ser útil para señalar como trabaja la ciencia.

2. Es una parte importante de la historia del pensamiento evolucionista de la última parte del siglo XX.

Ver por ejemplo Polly (2015), Sterelny (2007) y Rull (1993), entre otros.

3. Ha hecho aportaciones sustanciales a la biología evolutiva

Sin duda Stephen Jay Gould hizo importantes contribuciones a la teoría evolutiva como lo señalan Danieli *et al.* (2013) y Lieberman y Vrba (2005) entre otros.

4. Ha ayudado a formular una serie de preguntas para las que la teoría sintética provee respuestas parciales o no las da

Por ejemplo, ¿la selección natural es el único principio organizador que produce la complejidad biológica? ¿La selección natural produce evolución a otros niveles jerárquicos además del de organismos, y el de genes? ¿Existe una discontinuidad de algún tipo entre la llamada micro y la macroevolución? ¿Cómo se originan los nuevos fenotipos, y representan una clase distinta de cambio fenotípico? ¿Pueden las teorías ecológicas y evolutivas estar relacionadas? ¿Qué papel juega el desarrollo en la evolución? ¿El cambio evolutivo es gradual o no? (Pigliucci Massimo, 2009:221), ¿cuáles son las restricciones y sesgos que los programas de desarrollo imponen a la evolución? ¿Cómo se explica la ocupación heterogénea del “morfo-espacio” (Caponi, 2009).

#### 5. Advierte sobre una multiplicidad de procesos evolutivos

Un consenso general acerca del mecanismo de especiación, después de décadas de debates respecto al equilibrio puntuado, es que necesitamos una multiplicidad de procesos de modos y orígenes de nuevas especies (puntuados en algunas circunstancias ecológicas y gradual en otras), una multiplicidad de posibles velocidades de especiación y una multiplicidad de niveles de cambio a ser considerados (desde un punto de vista ecológico y genealógico). Así que hoy, la principal postura metodológica es un cálculo de las frecuencias relativas de un patrón (interrupcionismo) con respecto a otro (el gradualismo y tendencias), y no una alternativa radical entre dos modelos incompatibles (Pievani, 2012:216).

#### 6. Es parte de la teoría ampliada o expandida

Como se mencionó anteriormente, muchos autores plantean una teoría ampliada (Goldschmidt, 1940; Eldredge y Gould, 1972; Muñoz-Durán, 2009; Cadena Monroy, 2009; Pigliucci Massimo, 2009; Sidlauskas, *et al.*, 2009; López, M. N., 2009: 354; Noguera S. R. y Ruiz Gutiérrez R., 2010; Pievani T, 2012 y otros), las propuestas del equilibrio puntuado son parte de ella.

#### 7. Es coherente con otras teorías evolutivas actuales

Es congruente con la teoría neutralista de la evolución molecular porque establece distintos niveles jerárquicos en la evolución; con la teoría de simbiogénesis serial porque explica cambios rápidos en cortos tiempos y no graduales; y también con la teoría de evo-devo porque ella puede sustentar tanto la estasis como los cambios rápidos de los que habla el equilibrio.

#### 8. Está en concordancia con los datos obtenidos en las áreas de reciente expansión como los de la biología del desarrollo y la herencia epigenética.

Por ejemplo, la biología evolucionaria del desarrollo o “Evo-Devo” se plantea preguntas acerca de la ocupación desigual del morfoespacio o de los modos en



que los patrones del desarrollo constriñen y sesgan la evolución, y se puede decir que es un amplio conjunto de líneas de investigación focalizadas en el proceso de desarrollo y la evolución. (González Galli y Meinardi, 2013: 225).

Y por su lado, la herencia epigenética explica un cambio de muchos individuos en un mismo sentido (Folguera y Galli, 2012: 10); debido a que las interacciones epigenéticas son demasiado complejas, generalmente es imposible reducir la evolución morfológica a un problema de genética de poblaciones. La dinámica del desarrollo y su control genético debe ser probado por biólogos evolutivos si queremos entender el paradójico vacío de información entre la evolución morfológica y genética.

9. Da una mejor respuesta que la teoría sintética a varios puntos fundamentales de la evolución en general y de las historias particulares de las especies

Son puntos como la incorporación de los factores externos e internos en las explicaciones evolutivas, el surgimiento abrupto de estructuras complejas y el problema de la evolucionabilidad de las especies, que parecía un callejón sin salida para los sintetistas.

El equilibrio puntuado considera muy relevante lo que ocurre desde la aparición de las mutaciones en una célula germinal, hasta que llega a ser un adulto, es decir la caja negra que era todo lo relativo a la biología del desarrollo.

Para que una variación fenotípica surja y pueda entrar en competencia darwiniana con otras, algo en el proceso de la ontogénesis tiene que ser atrofiado o hipertrofiado, agregado o suprimido, transpuesto o deformado, postergado o anticipado; es decir, para producir una modificación en la forma adulta, la evolución debe modificar el proceso embriológico responsable por esa forma (Caponi, 2009: 199).

Es que, sea cual sea la índole de esa alteración o de esa reprogramación de la ontogenia, ella tiene que cumplir con dos requisitos fundamentales. En primer lugar ella tiene que ser accesible para el sistema en desarrollo; es decir, tiene que tratarse de una alteración pasible de ser producida en y por ese mismo proceso ontogénico. Y, en segundo lugar, ella tiene que ser tal que, ni aborte ese proceso, ni genere un monstruo totalmente inviable. Además de física o fisiológicamente posible, un cambio evolutivo también tiene que ser ontogénicamente posible: la ontogénesis puede o no recapitular a la filogénesis; pero con sus exigencias, que no son menos acuciantes que las ecológicas, la limita y la orienta (Caponi, 2009:207). Es necesario incluir tanto factores externos como internos para explicar plenamente la evolución.

Por otro lado, la evolución definida como un cambio en las frecuencias génicas debidas a la selección de variantes que se originan al azar (como la Teoría Sintética) no es suficiente para explicar la producción de estructuras más complejas en los seres vivos, resulta mejor explicación la aportada por evo-devo quién las considera no como una simple acumulación de mutantes ventajosas, sino más bien como la reorganización y reprogramación de estructuras existentes y módulos de desarrollo (Kampourakis y Minelli, 2014: 495-496).

La teoría del evo-devo puede ayudar a explicar con ejemplos concretos como los organismos pueden cambiar significativamente por pequeñas modificaciones en sus genomas (Kampourakis, y Minelli, 2014:496), y de esta manera, adquirir nuevas estructuras rápidamente como lo señala el equilibrio puntuado.

10. Puede coadyuvar para que los estudiantes superen el obstáculo teleológico y el razonamiento causal lineal

Debido a que en el equilibrio puntuado, el modo en el que transcurren las especies en el tiempo no es gradual, lento y continuo, es en este sentido impredecible. No se puede conocer con anterioridad en que momento una especie va a cambiar, y hacia qué dirección. El papel de los procesos estocásticos es muy relevante en la teoría y puede facilitar el aceptar que la evolución como proceso, no tiene una meta predeterminada. Además el comprender la teoría posibilita en las personas (Magaña, 2007:1) concebir ideas de movimiento, cambio de ideas, de puntos de vista, formas de vivir y sentir lo que constituye la base de la comprensión y respeto de la diversidad humana y posibilita otros estilos y prácticas de convivencia social.

11. Puede promover un pensamiento de orden superior

Bryan Alters y William McComas sugieren que es necesaria la inclusión del equilibrio puntuado en el currículum debido a que al explorar la evidencia para la teoría, y el debate que suscitó, se promueve en el alumno un pensamiento de orden superior. Los autores parten de la propuesta de Resnick (1987 en Alters y McComas, 1994:337) quien señala nueve criterios para el pensamiento de orden superior, algunos de ellos son: que el camino del proceso no está completamente especificado de antemano, es complejo y da múltiples soluciones, implica un juicio e interpretación matizados, requiere la aplicación de criterios múltiples que a veces se contradicen, se presenta la incertidumbre, se requiere una búsqueda de la estructura en aparente desorden, se necesita un esfuerzo considerable del trabajo mental involucrado. El equilibrio cumple con estos criterios.

### Transposición didáctica

Al considerar que la "ciencia erudita" es diferente a la "ciencia escolar" debido a que tienen diferentes fines e intereses, debemos también considerar que la primera sufre una serie de transformaciones para llegar a la segunda, esto se conoce como la transposición didáctica (Sanmartí 2002 en Folguera y González Galli 2012: 14 y Meinardi, 2010). Esto puede ocurrir en dos etapas: en la primera los científicos interesados por la enseñanza convierten el *saber sabio* en un *saber a enseñar*; en la segunda este es convertido en un *saber enseñado* por el profesorado.

La biología evolutiva que se enseña en las escuelas actualmente, es producto de un proceso de transposición que se llevó a cabo hace muchos años; para la teoría sintética tuvo lugar a mediados del siglo XX. La transposición didáctica toma su tiempo, por esto muchas veces, los contenidos escolares resultan "desactualizados" o "viejos" a los ojos de los expertos. Por lo tanto, es válido preguntarnos si ya ha ocurrido un proceso adecuado de transposición para las nuevas teorías de la evolución.

Para autores como Folguera y González Galli (2012:14) no disponemos de transposiciones didácticas de los modelos evolutivos recientes, esto es cierto tanto para el nivel universitario como para el secundario –al menos en Argentina-, los únicos modelos que pueden encontrarse en algunos libros de texto para enseñanza secundaria son el modelo de equilibrio puntuado y la endosimbiosis. Podría suponerse que la comunidad educativa no estuviera aún en condiciones de incorporar a estos modelos a la enseñanza.

Sin embargo, como se ha señalado en el presente trabajo, las nuevas propuestas como el equilibrio puntuado, son particularmente relevantes ya que afectan algunos de los supuestos fundamentales de la teoría sintética; e incluso han impulsado a diversos investigadores a considerar una nueva teoría expandida.

Aquí se considera que los futuros biólogos y profesores de biología deben tener un mínimo acercamiento a estos modelos que les permita dar cuenta de los cambios que está sufriendo esta ciencia, pero sobre todo tener un mejor entendimiento de los procesos evolutivos. Como también lo señalan Folguera y González Galli (2012:15). Ciertamente, se precisa mucho trabajo epistemológico con respecto a la teoría evolutiva, pero también en el ámbito pedagógico para efectuar una completa y adecuada transposición didáctica, que posteriormente permita enseñar de una forma apropiada y útil a los biólogos, y a todas las personas que se relacionan con el conocimiento científico de las ciencias naturales. Finalmente no cabe duda, que estamos viviendo un proceso sumamente interesante con relación al entendimiento de la vida, pero también respecto al avance de la ciencia, a su epistemología, a su transposición y su didáctica, y este excitante reto seguramente nos ocupará en los próximos años.

## **TEMARIO SUGERIDO**

Respecto a la enseñanza del equilibrio puntuado, en este trabajo se proponen los siguientes objetivos.

### **OBJETIVO DE APRENDIZAJE**

El alumno conocerá la teoría del equilibrio puntuado, sus principales propuestas, procesos e implicaciones y las contrastará con las del gradualismo sintético.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

El alumno reconocerá

1. Que en el registro fósil las especies pueden presentar un gradualismo, u otro patrón diferente; para el equilibrio puntuado el más frecuente es un **patrón de puntuación y estasis**.

2. La **puntuación** representa una especiación que puede originarse por cladogénesis (principalmente peripátrica), y se produce en un tiempo geológico breve, resultando en un incremento de la biodiversidad.

3. La **estasis** es un periodo de escasa variabilidad morfológica que se extiende durante la mayor parte del tiempo de duración de la especie. Se puede presentar debido a que las especies están sujetas a restricciones de tipo estructural, histórico y ontogénico.

4. Las restricciones o **constricciones estructurales** son producidas de manera directa por las fuerzas físicas que actúan en la naturaleza, mientras que las **históricas y ontogénicas** están relacionadas con la evolución del desarrollo,

sobre todo con la canalización interna de las trayectorias evolutivas. Ejemplos de estas últimas son la heterocronía, alometría y la homología profunda.

5. Como una consecuencia de las constricciones estructurales se presentan las **enjutas** que son estructuras resultantes colateralmente de la transformación de otros rasgos, pero que en principio no son adaptativas. Las enjutas junto con otras formas de potencial exaptativo definen el dominio de la evolucionabilidad y desempeñan un papel muy importante en la macroevolución.

6. Para el equilibrio puntuado es necesario considerar los **factores funcionalistas** (externalistas), así como los **formalistas** (internalistas) en la evolución de las especies, por ello plantea la integración de la estructura y la función.

7. Las especies se comportan como **individuos darwinianos** legítimos, por lo que es posible que se presente una **selección a nivel de especies**. El cribado de especies, en términos de su originación y extinción diferencial puede explicar las tendencias evolutivas.

8. La evolución se puede contemplar como constituida por diferentes **niveles jerárquicos**, por lo que la macroevolución será autónoma de la microevolución.

9. El equilibrio puntuado introduce formulaciones revisadas y **adiciones importantes** a la teoría evolutiva, pero preserva el fundamento darwiniano.

El temario propuesto debe revisarse después de que se tienen los conocimientos fundamentales de la teoría sintética, no en lugar de ella, como señalan Nehm y Kampourakis:

No hay razón para temer enseñar a los escolares que la deriva, la mutación y la selección natural forman el pilar de la teoría evolutiva, no es más peligroso que enseñar mecánica newtoniana en las clases de física de la secundaria. Al igual que la mecánica cuántica, la corriente de debates complejos en la teoría macroevolutiva se enseñan adecuadamente después de que se ha establecido un marco básico, ya que se ha construido, pero no invalidado el fundamento<sup>5</sup> (2014: 416).

---

<sup>5</sup> There is no reason to fear teaching schoolchildren that drift, mutation, and natural selection form the central pillar of evolutionary theory, any more than it is dangerous to teach Newtonian mechanics in high-school physics classes. Like quantum mechanics, the current complex debates in macroevolutionary theory are appropriately taught after the basic framework has been established, since they build on, but not invalidate, the foundation.”



## CONCLUSIONES

Después de revisar los datos obtenidos en la presente indagación se llegó a lo siguiente:

1. Cuando los alumnos de la licenciatura en Biología ingresan a la escuela profesional, la mayoría cuenta con algunos conocimientos de la teoría sintética de la evolución, pero desconocen la teoría del equilibrio puntuado.
2. A diferencia de una imagen fijista de los niños reportada en la literatura (Kampourakis, 2014:86; Kampourakis y Minelli, 2014: 496), la mayoría de los estudiantes de la licenciatura en Biología de la UNAM, consideran a las especies en un proceso continuo de transformación, aunque se les dificulta asumir una estabilidad de las especies a largo plazo.
3. En general estos estudiantes tienen una concepción gradualista que facilita una interpretación del registro fósil en forma continua, y asumen que las especies cambian en el tiempo por modificaciones pequeñas, lentas y persistentes que se desarrollan en períodos muy grandes; aunque una minoría menciona también procesos rápidos de transformación.
4. Cuando conocen la forma gradualista de interpretar las brechas o discontinuidades en el registro fósil, la encuentran plausible y la emplean en sus análisis del fenómeno, coincidiendo fundamentalmente con las explicaciones darwinianas; muchos consideran este registro sumamente imperfecto.
5. A pesar de que hayan revisado en clase el tema del equilibrio puntuado, la mayoría de los estudiantes no emplean esta teoría para interpretar la evolución en tiempos geológicos, más aún al resolver problemas macroevolutivos generalmente sólo considera la perspectiva gradualista sin añadir la puntualista. Esto podría indicarnos que la teoría puntualista no está incorporada en su estructura conceptual, pero que además no han

adquirido una perspectiva evolutiva pluralista causal (*sensu* Nehm y Kampourakis, 2014:403).

6. Cuando los estudiantes se apartan de una perspectiva fijista para asumir una gradualista de cambio evolutivo, se agudiza la problemática en torno a la definición del concepto de especie, porque llegan a suponer que es una entidad difícil de definir. Además de asumir, que tal vez, la especie no tenga una existencia real en la naturaleza, debido a que sólo es una entidad creada por el hombre para ordenar el mundo y comprenderlo.

Cabe aclarar que el concepto de especie es fundamental en la biología, debido a que es la unidad elemental con la que trabaja el biólogo en cualquier área; ya se trate de genética, biología molecular, producción animal, biotecnología, paleontología, conservación u otra, todos trabajan con organismos que pertenecen a alguna especie que es preciso determinar o identificar.

7. No obstante el gradualismo es una concepción que parece impedir el asumir otras posturas epistemológicas; y no es que se pretenda eliminar la perspectiva gradualista, sino muy por el contrario enriquecerla. La dificultad de aceptar otra perspectiva diferente la expresan Moya y Latorre (2004:190) de la siguiente forma “Este paradigma (la teoría sintética) ha calado tan profundamente en las raíces de la explicación que la cultura occidental hace del cambio biológico, que resulta extremadamente difícil contemplar otros posibles enfoques que se han ido abriendo paso en el estudio de la evolución biológica. Incluso podríamos decir que ha influido negativamente, porque se presenta como una teoría cerrada, conclusa, panexplicativa”.

Es posible que la concepción gradualista dificulte que muchos alumnos puedan apreciar las discontinuidades del registro fósil como un fenómeno provocado por la dinámica evolutiva de las especies, adjudicando estas brechas a otras causas como los procesos de fosilización o la falta de investigación.

8. Obstáculos epistemológicos como la teleología de sentido común (*sensu* González-Galli) o la teleología selectiva (*sensu* Lennox y Kampourakis) se hacen presentes en sus respuestas, por ejemplo “las especies cambian para adaptarse al medio”, esa sería su finalidad o meta.

9. En general, las contestaciones de los estudiantes sobre la macroevolución pueden considerarse como la expresión de al menos dos obstáculos epistemológicos, la teleología de sentido común y el razonamiento causal lineal.

10. Si bien la propuesta didáctica PDHI aplicada en este estudio incrementó los resultados favorables, desde nuestra perspectiva no se logró que la mayoría de los estudiantes alcanzaran un nivel explicativo adecuado, y emplearan tanto el enfoque gradualista como el puntualista al solucionar problemas evolutivos. Este camino puede resultar muy prometedor, aunque habrá que mejorar muchas cuestiones importantes; sin embargo hay que mencionar que varios aspectos rebasan el entorno áulico porque se sitúan en el ámbito de la ciencia y en diversas etapas de la complicada transposición didáctica.

## REFERENCIAS

- Adúriz-Bravo, A., e Izquierdo, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 1(3), 130-140.
- Alters, B. J. y McComas, W. F. (1994) Punctuated equilibrium: The missing link in evolution. *The American Biology Teacher*, 334-340.
- Alucema, M. A. (1996). Evaluación de las organizaciones conceptuales de estudiantes de biología referidas al concepto de evolución. En Campos y Ruiz Gutiérrez. (eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de las ciencias*. México: UNAM.
- Araujo Llamas, R. y Roa Acosta, R.(2011). Enseñanza de la evolución biológica. Una mirada al estado del conocimiento. *Bio-grafía: Escritos sobre la Biología y su Enseñanza*,4(7), 15-35.
- Astolfi, J. P. y Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Astes*, 16, 105
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., y Hanesian, H. (1993). Psicología educativa. Un punto de vista educativo. 6ª reimpresión. México: Trillas.
- Bachelard, G. (1982) [1938]. *La formación del espíritu científico*. 10ª ed. México: Siglo XXI
- Barahona, A., Chamizo, J. A., Garritz, A., y Slisko, J. (2014). The History and Philosophy of Science and their Relationship to the Teaching of Sciences in Mexico. En *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 2247-2269). Springer Netherlands.
- Benton, M. J. (2003). Patterns and rates of species evolution. Biological systematics. De Enciclopedia de Life Support Systems, EOLSS Publishers, Oxford, Reino Unido. Recuperado de <http://paleo.gli.bris.c.a.uk/Benton/reimpresiones/2003eolss.html>, 393-420
- Benton, M. J. y Pearson P. N. (2001). Speciation in the fossil record. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(7), 405-411.
- Bermúdez Rey, J. P. (2014). Forma y función en el debate biológico sobre los constreñimientos. *Versiones*, 4: 43-55.
- Bernal, J. D. (1990). *La ciencia en la historia*. 11ª ed. en español. México: UNAM.

- Bishop, B. A. y Anderson, C. W. (1990). Student conception of natural selection and its role in evolution. En: *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 415-427.
- Cachón Guillén, A. V. (2003). La controversia entre la teoría del equilibrio puntuado y el neodarwinismo. (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Cachón, V. y Barahona, A. (2002). La transición de la teoría del equilibrio puntuado hacia una teoría de rango medio. *Asclepio*, 54(2), 83-108.
- Cadena, L. A. (2010). Sobre una nueva propuesta del proceso evolutivo. *Acta Biológica Colombiana*, 14(4s), 217-230.
- Campos Hernández, M. A. (2004). *El programa de Desarrollo de Habilidades con Base en la Estructura de la Investigación, PDHI*. México: Universidad Intercontinental.
- Campos Hernández, M. A., y Cortés Ríos, L. (2002). *Conversar, argumentar, explicar: una estrategia para construir conocimiento abstracto*. Revista Latinoamericana de estudios educativos, 23(4), 115-156.
- Campos Hernández, M.A., y Cortés Ríos, L. (2005). El contenido epistemológico del conocimiento de estudiantes de biología. En Campos Hernández (ed.) *Construcción de conocimiento*. México. UNAM.
- Campos Hernández, M.A., Cortés Ríos, L., y Gaspar, S. (1999). Análisis de discurso de la organización lógico-conceptual de estudiantes de biología de nivel secundaria. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 4(7), 27-77.
- Campos Hernández, M. A. y Gaspar, S. (1996). El modelo de análisis proposicional: un método para el estudio de la organización lógico-conceptual del conocimiento. En Campos, M.A. y Ruiz Gutiérrez, R. (eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de las ciencias*, (pp. 1-26). México, UNAM.
- Campos Hernández, M.A. y Gaspar, S. (1999). Representación y construcción de conocimiento. *Perfiles Educativos*, 21(83-84), 27-49.
- Campos Hernández, M.A. y Gaspar, S. (2005). El modelo de análisis proposicional: estado actual y perspectivas. En Campos Hernández, (ed.), *Construcción de conocimiento en el proceso educativo* (19-65). México, UNAM/Plaza y Valdés.
- Campos Hernández, M. A., Gaspar, S. y Alucema, M. A. (2000). Análisis de discurso de la conceptualización de estudiantes de biología de nivel

universitario. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades*, 10(1), 31-71.

Campos Hernández, M. A., Gaspar, S. y Cortés Ríos, L. (2003). Una estrategia de enseñanza para la construcción de conocimiento científico (EDCC). *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 33(3), 93-124.

Campos Hernández, M. A., Jiménez, A.G., Lucero, M. R., y Carrasco, H. (2008). Habilidades cognoscitivas y organización conceptual en estudiantes de historia y administración, En Campos Hernández, (ed.), *Argumentación y habilidades en el proceso educativo*. (pp. 282-327). México: UNAM/Plaza y Valdés.

Campos Hernández, M. A., Sánchez, C., Gaspar, S. y Paz, V. (1999). La organización conceptual de alumnos de sexto grado de educación básica acerca del concepto de evolución. *Revista Intercontinental de Psicología y Educación*, 1(1-2), 39-55.

Campos Hernández, M. A. y Ruiz, R. (eds.).(1996). *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de la ciencia*. México: IIMAS-UNA.

Campos Hernández, M. A., Ruiz Gutiérrez, R. y Alucema, A. (1996) Estructuras conceptuales graduadas en el conocimiento aprendido. En Campos y Ruiz, (eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de las ciencias* (pp. 93-111). México: UNAM.

Campos Hernández, M. A., Velásquez, B.M., Remolina N., y Calle, M. G.(2010). *Representaciones conocimiento formal y estilo de pensamiento*. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.

Caponi, G. (2009). La evo-devo como ciencia histórica de casusas próximas. *Acta Biológica Colombiana*, 14S: 133-150.

Carroll, R L. (2000). Towards a new evolutionary synthesis. *Trends in Ecology & Evolution*, 15:27–32.

Castrodeza, C.(2010). El 'Origen' del origen del origen. *Actes d'història de la ciència i de la Tècnica*, 3 (2):143-158.

Cisneros Sandoval, R. (2008). Estrategia de enseñanza y organización lógico conceptual de estudiantes de física de nivel medio superior sobre el concepto de energía. Campos Hernández. (ed.), *Argumentación y habilidades en el proceso educativo*. (pp. 391-422) México: UNAM/Plaza y Valdés.

Cuadrado, H., Edrey, É., Solis Murgas, L. D., y Buitrago Cardozo, M. D. J. (2016). Fotoperiodo y ontogenia inicial de peces migratorios de Brasil con énfasis en

- sábalo (*Prochilodus lineatus*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 27(1):01-16.
- Cubero Pérez, R. (1998). Aprendizaje de la digestión en la enseñanza primaria. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (16), 33-43.
- Danieli, G. A., Minelli, A., Pievani, T. (eds.). (2013). *Stephen J. Gould: The scientific legacy*. Milán: Springer.
- Darwin, C. (1981) [1872]. *El Origen de las Especies*. 2ª ed. en español. México: CONACYT.
- Darwin, C. (1993). *Autobiografía*. Madrid: Alianza Cien.
- Dawkins, R. (1996). *The Blind Watchmaker*. Londres: Norton & Company.
- Dobzhansky, T. (1997) [1937]. *Genética y el origen de las especies*. Círculo de lectores.
- Dobzhansky T., Ayala F., Stebbins y Valentine J. (1977). *Evolution*. San Francisco: Freeman and Co..
- Dressino, V., Lamas, S. G. (2006). Problemas del programa adaptacionista y su influencia en la teoría sintética. *Episteme*, 11(24): 403-418.
- Eldredge, N. (1971). The allopatric model and phylogeny in paleozoic invertebrates. *Evolution*, 25(1), 156-167.
- Eldredge, N. (1979). Alternative approaches to evolutionary theory. *Bulletin Carnegie museum of natural history*. 13, 7-19.
- Eldredge, N. (1991). Fossils. The Evolution and extinction of species. En García, P., Montellano, M., Quiroz, S., Sour, F., Ceballos, S., Chávez, L. (eds.) 2008. *Paleobiología*. Lecturas seleccionadas. México: UNAM.
- Eldredge, N. (1997). *Síntesis Inacabada. Jerarquías biológicas y Pensamiento evolutivo Moderno*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.
- Eldredge, N. (2000). Las especies, la especiación y el medio ambiente [en línea]. Recuperado del sitio Web del American Institute of Biological Sciences <http://www.actionbioscience.org/esp/evolucion/eldredge.html>
- Eldredge, N. (2015). *Eternal ephemera: adaptation and the origin of species from the nineteenth century through punctuated equilibria and beyond*. New York: Columbia University Press.

- Eldredge, N. y Gould, S. J. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. En Schopf, T. J. M., (ed.) *Models in Paleobiology* (pp 82–115). San Francisco : W. H. Freeman.
- Eldredge, N., Thompson, J. N., Brakefield, P. M, Sergey, G., Jablonski, D., Jackson, J., Lenski, R., Lieberman, B., McPeck, M., y Miller, W. (2005). The dynamics of evolutionary stasis. *Paleobiology*, 31(2), 133–145.
- Endler, J. A. (1992). Natural selection: current usages. En Keller E. y Lloyd E. (eds.), *keywords in Evolutionary Biology*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Fernández, J. J. San José López, V. (2007). Permanencia de ideas alternativas sobre evolución de las especies en la población culta no especializada. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 21, 129-14.
- Folguera, G. (2010). La relación entre microevolución y macroevolución desde la síntesis biológica: entre las diferencias y similitudes. *Filosofía e Historia de la Biología*, 5(2), 277-294.
- Folguera, G. y L. González Galli (2012). La extensión de la síntesis evolutiva y los alcances sobre la enseñanza de la teoría de la evolución. *Bio-grafía- Escritos sobre la biología y su enseñanza*, 5(9), 4-18.
- Fontdevila, A. ( 2007). Reconstruyendo a Darwin. *Evolución*, 2(2): 5-22.
- Fontdevilla, A., y Moya, A. (2003). *Evolución: Origen, adaptación y divergencia de las especies*. Madrid: Ed. Síntesis.
- Freeman, S. y Herron, J. C. (2002). *Análisis evolutivo*. Madrid: .Prentice-Hall.
- Futuyma, D.J. (2005). *Evolution*. Massachusetts: Sinauer Associates.
- Gianoli, E. (2004). Plasticidad fenotípica adaptativa en plantas. En Marino Cabrera, H (ed.). *Fisiología Ecológica en Plantas. Mecanismos y Respuestas a Estrés en los Ecosistemas*. Valparaíso: EUV.
- Gil Pérez, D. (1993). El modelo constructivista de enseñanza/aprendizaje de las ciencias: Una corriente innovadora fundamentada en la investigación. *En Enseñanza de las ciencias y la matemática*. Organización de Estados Americanos. Editorial Popular.
- Goldschmidt, R. (1940). *The Material Basis of Evolution*. New Haven: Yale University Press.



- González Galli, L. (2010a). ¿Qué ciencia enseñar? En Meinardi, E., González Galli, L., RevelChion, A., y Plaza, M. V. (eds.). *Educación en Ciencias*. Buenos Aires: Paidós.
- González Galli, L. (2010b). La teoría de la evolución. En Meinardi, E., González Galli, L., RevelChion, A., y Plaza, M. V. (eds.). *Educación en Ciencias*. Buenos Aires: Paidós
- González Galli, L. (2011). Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- González Galli, L. y Meinardi, E. (2013). ¿Está en crisis el darwinismo? Los nuevos modelos de la biología evolutiva y sus implicaciones didácticas. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 27, 219-234.
- Gould, S.J. (1977). *Ontogeny and Phylogeny*. Cambridge, Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press.
- Gould, S. J. (1980). Is a new and general theory of evolution emerging? *Paleobiology*, 6(1), 119-130.
- Gould, S. J. (1982). Darwinism and the Expansion of Evolutionary Theory, *Science*, 216, 380-387.
- Gould, S. J. (1994). *Ocho cerditos: Reflexiones sobre historia natural*. Barcelona: Grijalbo Mondadori-Crítica.
- Gould, S. J. (2004) [2002]. *La estructura de la teoría de la evolución*. Barcelona: Metatemas
- Gould, S. J. (2010). *Hen's teeth and horse's toes: Further reflections in natural history*. New York: WW Norton & Company.
- Gould, S. J. y Eldredge, N. (1977). Punctuated equilibria: the tempo and mode of evolution reconsidered. *Paleobiology*, 3, 115-151.
- Gould, S. J. y Eldredge, N. (1986). Punctuated equilibrium at the third stage. *Systematic Zoology*, 35(1), 143-148.
- Gould, S. J., y Lewontin, R. C. (1979). The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 205 (1161): 581–98.
- Gould, S. J. y Vrba, E., (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8 (1), 4–15.

- Guillén F. C. (1995) ¿Qué saben los estudiantes de secundaria sobre el tema de evolución? En Campos y Gutiérrez. *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de las ciencias*. México. IIMAS-UNAM.
- Guillén Rodríguez, F. (1997). Construcción de un modelo de enseñanza de la biología. (Tesis de doctorado). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Gutiérrez, A. J. (2006). El conocimiento profesional y escolar en la enseñanza sobre la evolución biológica en la educación secundaria. (Tesis de doctorado). Universidad de Sevilla, España.
- Harvati, K. (2010). Neanderthals. *Evolution: Education and Outreach*, 3:367–376.
- Hernández, A., Correa, M., y Guerra, Y. (2012). Acercamiento al estado de la enseñanza de la biología: el estado de arte de la revista *The American Biology Teacher* 2007. *Revista Virtual EDUCyT*, 15.
- Hernández Rodríguez, M. C. (2002). La historia en la enseñanza de la teoría de la selección natural. (Tesis de doctorado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hull, D. L. (1989). *The Metaphysics of Evolution*. Stony Brook NY: State University of New York Press.
- Hunt, Gene. (2007). The relative importance of directional change, random walks, and stasis in the evolution of fossil lineages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(47), 18404–18408.
- Huxley, J.S. (1942). *Evolution: the modern synthesis*. Londres: Allen and Unwin
- Imhof, A. y Giri, F. (2008). Análisis de los conocimientos previos sobre Conceptos y teorías evolutivas en estudiantes del ciclo superior de ciencias naturales. Ponencia presentada en el Segundo Congreso Internacional de Educación. Argentina. [en línea]  
Recuperado de [www.fhuc.unl.edu.ar/educacion/trabajos.../Letra%20H-I-J-K.pdf](http://www.fhuc.unl.edu.ar/educacion/trabajos.../Letra%20H-I-J-K.pdf)
- Jablonka, E. y Marion, J. L. (2006). The Evolution of information in the major transitions. *Journal of Theoretical Biology*, 239, 236-246.
- Kampourakis, K. (2014). *Understanding Evolution*. [Versión de Cambridge Books Online] Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139542357.005>
- Kampourakis, K. (2013). *The philosophy of biology: A companion for educators*. Springer.

- Kampourakis, K., y Minelli, A. (2014). Evolution makes more sense in the light of development. *The American Biology Teacher*, 76(8), 493–498.
- Kampourakis, K., y Nehm R. (2014) History and philosophy of science and the teaching of evolution: students' conceptions and explanations. En Matthews, M. R. (Ed.). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer
- Kampourakis K. y Zogza V. (2008). Explicaciones intuitivas de los estudiantes de las causas de homologías y adaptaciones. *Ciencia y Educación*, 17(1), 27-47.
- Keller, F. E. y Lloyd E. A. (1992). *Keywords in evolutionary biology*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Kuhn, Thomas S. (1990). *La estructura de las revoluciones científicas*. 14<sup>a</sup> ed. México: Fondo de Cultura Económica.
- Koonin, E. V., y Yutin, N. (2014). The dispersed archaeal eukaryome and the complex archaeal ancestor of eukaryotes. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 6(4), a016188.
- Kutschera, U. y Niklas, K. (2004). The modern theory of biological evolution: an extended synthesis. *Naturwissenschaften*. 91: 255-276. Doi: 10.1007/s00114-004-0515-y
- Lazcano, A. (2005). Teaching evolution in Mexico: Preaching to the choir. *Science*. 310, 787 – 789.
- Lieberman, B., y Vrba, E. (2005). Stephen Jay Gould on Species Selection: 30 Years of Insight. *Paleobiology*, 31(2), 113-121.
- López, M. N. (2009). *La dinámica de la evolución biológica: Más con más*. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra.
- Magaña, S. M. (2007). Concepciones sobre evolución biológica presentes en estudiantes de licenciatura en educación primaria. *En IX Congreso Nacional de Investigación Educativa, Consejo Mexicano de Investigación Educativa*.
- Martínez, S. F. (2005). La geografía de la razón científica: dependencia epistémica y estructura social de la cognición. En Martínez, S. F. y Guillaumin, G.(eds.). *Historia, filosofía y enseñanza de la ciencia*. México: UNAM
- Matthews, M. R. (Ed.). (2014). *International handbook of research in history, philosophy and science teaching*. Dordrecht: Springer.

- Mayr, E. (1942). *Systematics and the Origin of Species*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Mayr, E. (1963). *Animal Species and Evolution*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Mayr, E. (1980) Prologue: some thoughts on the history of the evolutionary synthesis. En Mayr, E. y Provine, W. B. (eds.), *The Evolutionary Synthesis* (pp. 1-48), Cambridge Massachusetts: Harvard University Press.
- Mayr, E. (1982). *El desarrollo del pensamiento biológico*. Cambridge Massachusetts: P. Belknap de Harvard UP.
- Mayr, E. (1991). *One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Mayr, E. (1992). Speciation Evolution or Punctuated Equilibria. En Somit, A., y Peterson, S. (eds.), *The Dynamics of Evolution. The Punctuated Equilibrium Debate in the Natural and Social Sciences* (pp. 21-53). Ithaca: Cornell University Press.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la biología*. Buenos Aires: Kats.
- Meinardi, E. (2010). El aprendizaje de los contenidos científicos. En Meinardi, E., González Galli, L., RevelChion, A., y Plaza, M. V.(eds.), *Educación en Ciencias*. Buenos Aires: Paidós.
- Monod, J. (1971). *El azar y la necesidad*. Barcelona: Barral.
- Morales González, F. (2004). *Introducción al protocolo y proyecto de investigación*. México: FES Zaragoza, UNAM.
- Moya, A. y Latorre, A. (2004). Las concepciones internalista y externalista de la evolución biológica. *Ludus Vitalis*, 12(21), 179-196.
- Moratalla, L. N., De Miguel, C., Font, M., y Santiago, E. (2009). *La dinámica de la evolución biológica: más con más*. Ediciones Universidad de Navarra.
- Muñoz-Durán, J. O. A. O. (2009). El proceso evolutivo evolucionista: del genoma al socioma y vuelta. *Acta Biológica Colombiana*. 14 S, 199 – 216.
- Nehm, R. H., y Kampourakis, K. (2014). History and Philosophy of Science and the Teaching of Macroevolution. In *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 401-421). Springer Netherlands.

- Neisser, U.(1989). From direct perception to conceptual structure. En Neisser, U. (ed.), *Concepts and conceptual development* (pp. 11-24). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nielsen, R. (2009). Adaptionism—30 years after Gould and Lewontin. *Evolution* 63-10: 2487–2490.
- Noguera, S. R y Ruiz Gutiérrez, R. (2010). Dos siglos explicando la evolución. *Ciencias*, 97: 22-30.
- Olea Franco, A. (1986). La teoría del equilibrio puntuado. Una alternativa al Neodarwinismo. *Ciencias*, 1: 56-58.
- Peñaloza Jiménez y Mosquera C. J. (2014) Aproximación al estudio de los factores relacionados con la enseñanza de la teoría de la evolución biológica en Colombia. *Revista Virtual EDUCyT*. (8)1-17.
- Pérez Morales, M. A., Gómez, G., y Glorisney, S. (2015). El pensamiento científico: la incorporación de la indagación guiada a los proyectos de aula. (Tesis doctoral). Corporación universitaria Lasallista.
- Piaget, J. (1980). *Problemas de psicología genética*. Barcelona: Ariel.
- Pievani, T. (2012). An evolving research programme: the structure of evolutionary theory from a lakatosian perspective. En Fasolo, A. (ed.), *The theory of evolution and its impact*. Milán: Springer-Verlag.
- Pigliucci, M. (2009). An Extended Synthesis for Evolutionary Biology. *Annales of the New York Academy of Sciences*. 1168: 218–228.
- Pigliucci, M., y Müller, G. B. (2010). Elementos de una síntesis evolutiva extendida. *Evolución*, 3-17.
- Pigliucci, M., y Müller, G. B. (2010). Comentarios Bibliográficos: Evolution: the extended synthesis. *Natura Neotropicalis*, 1(41), 67-69.
- Polly P. (2015). The antecedents of punctuated equilibria. *Evolución*, 69(11), 3021-3022.
- Ramírez, R. (2012). *La teoría sintética de la evolución / Teoría de los equilibrios discontinuos*. Buenos Aires: Educar S.E
- Rico Galeana, C. D. (2006). Las concepciones alternativas de los profesores de educación secundaria sobre la evolución de los seres vivos. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Rostand, J. (1994). *Introducción a la historia de la biología*. Bogotá: Planeta-DeAgostini.
- Ruiz Gutiérrez, R. (1996). La metodología científica y la enseñanza de la ciencia. En Campos, M. A. y Ruiz Gutiérrez, R. (eds.), *Problemas de acceso al conocimiento y enseñanza de las ciencias* (pp. 1-26). México: UNAM.
- Ruiz Gutiérrez, R., Álvarez Pérez, E., Noguera Solano, R., y Esparza Soria, M. (2012). Enseñar y aprender biología evolutiva en el siglo XXI. *Bio-grafía: escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 5(9), 80-88.
- Ruiz Gutiérrez, R. y Ayala, F. J. (2002). *De Darwin al DNA y el origen de la humanidad: la evolución y sus polémicas*. México: Fondo de Cultura Económica coedición UNAM.
- Ruiz Gutiérrez, R. y Ayala F. J. (2008). El núcleo duro del darwinismo. En Llorente, J., Ruíz, R., Zamudio, G. y Noguera, R. (eds.), *Fundamentos Históricos de la Biología* (pp.455-481).México: UNAM.
- Rull, V. (1993). El equilibrio puntuado frente a la ortodoxia darwiniana: una revisión crítica. *Paleontología i Evolució*, (26-27), 37-45.
- Sagan, C. (1997). *El mundo y sus demonios*. Madrid: Editorial Planeta.
- Sampedro, P. J. (2004). *Deconstruyendo a Darwin. Los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genética*. Barcelona: Crítica.
- Sani, J. M. (2001). Progreso científico y enseñanza de la ciencia: conocimientos básicos, interdisciplinariedad y problemas éticos. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 1, s. pág. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.  
Recuperado de <http://www.oei.es/historico/revistactsi/numero1/taller5.htm>
- Sanz Serrano, T. (2007). El reto de enseñar evolución: uso de ejemplos cercanos al alumnado. *Evolución*, 2(2), 69-73.
- Sánchez-Mora, M. C. (2000). La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes. (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Schmalhausen, I. I. (1949). Factors of evolution: the theory of stabilizing selection. [Versión de PsycINFO]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/232580943\\_Factors\\_of\\_Evolution\\_The\\_Theory\\_of\\_Stabilizing\\_Selection](https://www.researchgate.net/publication/232580943_Factors_of_Evolution_The_Theory_of_Stabilizing_Selection)

- Sidlauskas B., Ganeshkumar G., Hazkani-Covo E., Jenkins K. P., Hilmar L., McCall L. W., Price S., Scherle R., Spaeth P. and Kidd D. M. (2009). Linking big: the continuing promise of evolutionary synthesis. *Evolution*, 64-4: 871–880.
- Simpson, G. G. (1944). *Tempo and Mode in Evolution*. New York: Columbia Univ. Press.
- Soto Sonera J. (2009). Influencia de las creencias religiosas en los docentes de ciencia sobre la teoría de la evolución biológica y su didáctica. *Revista Mexicana de Investigación Educativa* 14 (41), 515-538.
- Sour, T. F. y Montellano, B.M. (2005). Concepto de especie en organismos fósiles y las escuelas de clasificación biológica. En García, P., Montellano, M., Quiroz, S., Sour, F., Ceballos, S., y Chávez, L. (eds.), *Paleobiología. Lecturas seleccionadas*. México: UNAM.
- Sour, T. F. y Quiroz, S. (2010). Registro fósil y evolución de homínidos. *Ciencias*, 97,58-71.
- Stanley, S., (2005). Macroevolution and the fossil record. En García, P., Montellano, M., Quiroz, S., Sour, F., Ceballos, S., y Chávez, L. (eds.), *Paleobiología. Lecturas seleccionadas*. México: UNAM.
- Stanley, S. y Yang, X. (1987). Approximate evolutionary stasis for bivalve morphology over millions of years: a multivariate, multil lineage study. *Paleobiology*, 13, 113-139. doi:10.1017/S009483730000868X.
- Stebbins, G. L.; Ayala, F. J., (1981). Is a new evolutionary synthesis necessary? *Science*, 213, 967-971.
- Sterelny, K. (2003). *Dawkins vs. Gould: Survival of the fittest*. London: Icon Books Ltd.
- Strickberger, M. W. (1993). *Evolución*. Barcelona: Omega.
- Templado, J. (1974). *Historia de las Teorías evolucionistas*. México: Alhambra.
- Thuillier, Pierre. (1981). ¿Era Darwin darwinista? *Mundo Científico*. Vol. 2 pp. 274-279
- Van Dijk, E. M., y Reydon, T. A. (2010). A conceptual analysis of evolutionary theory for teacher education. *Science & Education*, 19(6-8), 655-677.
- Van Dijk, T. y Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. Nueva York: Academic Press.

Vázquez García, L. M. (2004). Debate actual entre puntualistas y gradualistas sobre el origen y la evolución humana. La teoría del equilibrio puntuado como una teoría de rango medio. (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Vilches, A., y Furió, C. (1999). Ciencia, tecnología, sociedad: implicaciones en la educación científica para el siglo XXI. Biblioteca Digital da OEI.

Williamson, P. G. (1981). Paleontological documentation of speciation in Cenozoic molluscs from Turkana Basin. *Nature*, 293, 437-443.

Wright, S. (1932). The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution. *Proceedings of the sixth International Congress of Genetics*. 1: 356–366.



## APÉNDICES

### APÉNDICE 1. PROPUESTAS PARA UNA NUEVA SÍNTESIS EVOLUTIVA.

Se presentan tres propuestas de grupos de trabajo que están dedicándose a elaborar una nueva síntesis de la teoría evolutiva.

Si bien es cierto que la teoría de la evolución se encuentra bajo un intenso debate y revalorización, no se trata de un cambio de paradigma,<sup>1</sup> sino una expansión debida a descubrimientos empíricos y nuevas ideas; no es una crisis, se consideraría más apropiadamente como un enriquecimiento (Pigliucci, 2009:218, 226; Kutschera y Niklas, 2004). Evidentemente, la teoría de la evolución está evolucionando pero ¿cómo exactamente?

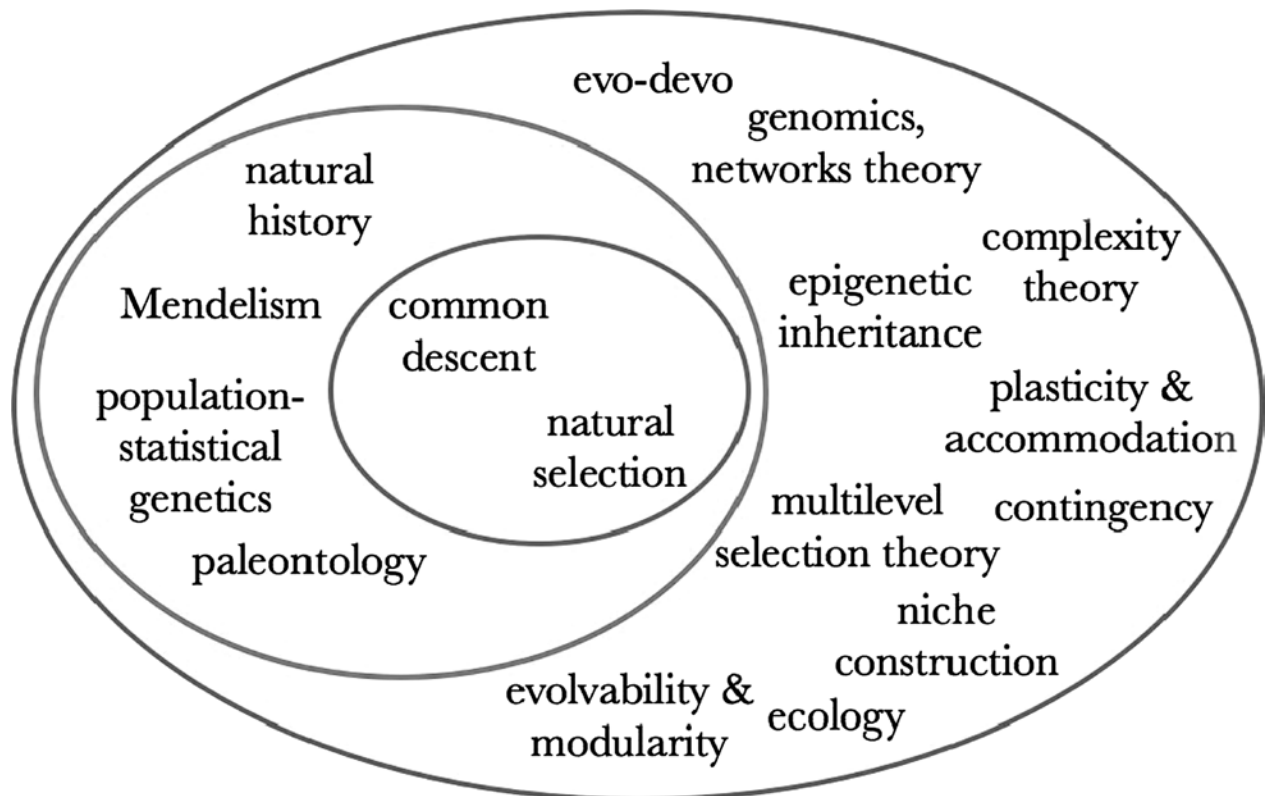
Existen algunas propuestas, tres de las cuales se presentan en este anexo. La primera de ellas consiste en un traslado de la teoría conocida como “Síntesis Moderna” a una “Teoría Expandida o Extendida”, tal como lo sugiere Massimo Pigliucci (2009). Este autor propone la conformación de una Síntesis extendida, la cual incluye una trama conceptual que contiene entre otras evo-devo, teoría de la herencia expandida, elementos de la teoría de la complejidad, ideas acerca de la evolucionabilidad (evolvability), y una revalorización de los niveles de la selección.

---

<sup>1</sup> En el sentido de un replanteamiento radical de la estructura conceptual de un campo de la ciencia (Kuhn 1990), para algunos autores como Massimo Pigliucci (2009:225) ocurrió un cambio de paradigma en el siglo XIX cuando la explicación biológica se transformó desde una perspectiva de la teología natural a la de la ciencia empírica.

Este proceso se contempla como una serie de anillos concéntricos en donde el círculo central es ocupado por el darwinismo, la elipse más pequeña representa los dos conceptos cardinales de la teoría de Darwin: la descendencia común y la selección natural. La segunda elipse, sería la teoría sintética de la evolución que añade nuevas ideas (mendelismo, la teoría matemática de la población y genética estadística) y campos unificados de investigación (genética, la paleontología, la historia natural). La tercera elipse (TE) incorpora nuevas ideas (teoría de la complejidad, herencia epigenética y evolucionabilidad) y trae bajo esta idea unificadora, aún más áreas de indagación –por ejemplo, la genómica, evo-devo, y, potencialmente, la ecología. (Pigliucci, 2009:226)

La siguiente figura es una representación de esta propuesta.



Representación conceptual de la expansión continua de la teoría evolutiva en términos de ideas, fenómenos estudiados y campos de investigación. La elipse más pequeña representa el darwinismo original, la elipse intermedia es la síntesis moderna, y la mayor conforma la síntesis extendida. (Pigliucci, 2009: 226)

El mismo autor aporta una estimación de algunos componentes de la síntesis extendida propuesta, formulada a partir del trabajo de un grupo de investigadores que intenta articular la teoría.<sup>2</sup>

### COMPONENTES DE UNA SÍNTESIS EXTENDIDA

Con notas acerca de la madurez conceptual, el grado de sustento empírico, si afecta la agencia, eficacia o alcance de la selección natural, junto con referencias clave (Pigliucci, 2009: 222).

COMPONENTES DE LA SÍNTESIS EXTENDIDA	MADUREZ CONCEPTUAL	SOPORTE EMPÍRICO	FORMA EN LA QUE AFECTA A LA SELECCIÓN NATURAL	REFERENCIAS
La función extendida de la contingencia	Alta	Mediana	Decrece la eficacia y el alcance	Monod 1971; Jacob 1977; Travisano et al. 1995; Cleland 2002; Gould 2002; Beatty 2006; Pigliucci & Kaplan 2006
La revisión de suposiciones y metáforas de la genética poblacional.	Media	Baja	Incrementa la agencia	Okasha 2006; Wilson & Wilson 2007
Estudios de regulación génica, propiedades de	Media	Media	Alteración (i.e., puede tener ambos	Cork & Purugganan 2004;

<sup>2</sup> Este esquema surgió en gran parte de un taller cuyo temática fue la estructura y futuro de la teoría de la evolución, en el Instituto Konrad Lorenz en Altenberg (Viena, Austria) durante el verano de 2008; los científicos presentes en Altenberg, eran solo una muestra de los biólogos teóricos, empíricos y filósofos de la ciencia que participan activamente en intentos de articular una teoría expandida (Pigliucci, 2009:221).

redes de genes y otros factores (relacionados con el mapa genotipo fenotipo).			efectos, incrementar o disminuir, en diferentes contextos) la eficacia y el alcance.	Wray 2007
Evolucionabilidad, modularidad, y robustez (relacionados con el mapa genotipo fenotipo.)	Alta	Media	Alteración (i.e., puede tener ambos efectos, incrementar o disminuir, en diferentes contextos) la eficacia y el alcance.	Wagner & Altenberg 1996; Wagner 2005; Griswold 2006; Colegrave & Collins 2008; Pigliucci 2008a
Herencia no-genética (Epigenética?)	Media	Baja	Incrementa la agencia	Oyama 1985; Griffiths & Gray 2004; Jablonka & Lamb 2005; Szathmáry 2006; Chandler & Alleman 2008
Construcción de Nicho	Media	Baja	Incrementa la agencia	Odling-Smee et al. 2003; Laland & Sterelny 2006; Sultan 2007
Emergencia Biológica	Media	Baja a media	Decrece la eficacia, incrementa el alcance	Kauffman 1993; Newman et al. 2006; Kirschner & Gerhart 2005
Plasticidad fenotípica en la macroevolución	Media	Baja	Decrece la eficacia, incrementa el alcance	West-Eberhard 2003; Pigliucci et al. 2006
Estasis y otros patrones macroevolutivos	Media	Alta	Probablemente disminuya la eficacia y el alcance	Eldredge & Gould 1972; Gould 2002; Jablonski 2000, 2008

La agencia se refiere a los niveles jerárquicos en la que actúa la selección natural, la eficacia al poder relativo de la selección natural con respecto a otras posibles causas de la evolución, y el alcance es el grado en que la selección natural puede extrapolarse a partir de los patrones de la microevolución en procesos macroevolutivos (Pigliucci, 2009: 222).

Por otra parte, un grupo de Investigadores que laboran en el Centro Nacional de Síntesis Evolutiva<sup>3</sup> (Sidlauskas, et al., 2009) afirman que la nueva síntesis que proponen, ofrece un potencial sin precedentes para hacer frente a cuestiones en las escalas más grandes, y también para generar importantes avances científicos, a pesar de que se están enfrentando una serie de obstáculos culturales e informáticos.

Una nueva perspectiva pueden derivarse de la combinación de datos, métodos, resultados o ideas generales, con los vínculos entre cada uno de estos tipos de elementos que crean cuatro modos básicos sintéticos. Esto es, a partir de procedimientos como la agregación de datos (como cuando se reconstruye la historia de la vida a través de una base mundial de datos sobre paleobiología marina), reuso de resultados (al inferirse el impacto del cambio climático en sistemas naturales), la combinación de metodologías (al sustentar la filogenómica usando herramientas evolutivas para estudiar genomas) y la síntesis de conceptos e incorporación metodológica (integración de la medicina para mejorar la salud humana), ponen en el centro de la propuesta a la síntesis (Sidlauskas, et al., 2009:872).

Estos investigadores sostienen, que en cualquier caso en la biología evolutiva, los avances surgieron de nuevos vínculos entre las escalas de análisis, desde la perspectiva detallada proporcionada por una sola generación de moscas o de palomas,

---

<sup>3</sup> National Evolutionary Synthesis Center, Suite A200, 2024 West Main Street, Durham, North Carolina 27705

a la gran panorámica del tiempo profundo sustentado por el registro fósil (Sidlauskas, et al., 2009:871).

Aunque en todas las síntesis "se combinan los distintos elementos o componentes para hacer un conjunto coherente o complejo"<sup>4</sup>, en un contexto científico es la extracción de una perspectiva, de otro modo imposible de obtener, a partir de una combinación de elementos dispares que mejor determinen la síntesis (Sidlauskas, et al., 2009:872).

Su predicción es que la capacidad de aceleración de enlace de datos, conceptos, métodos y resultados de una variedad de campos colocará a la síntesis en el corazón de muchos de los avances futuros en la biología evolutiva y las ciencias aplicadas al que se conecta; afirman que a medida que más y más obstáculos se superan con éxito, la síntesis ofrecerá una mejor capacidad de ver más allá y más profundo en las ciencias de la vida (Sidlauskas, et al., 2009:878).

Otra formulación interesante la presenta Telmo Pievani (2012: 214) en donde el cambio de unos 150 años de antigüedad histórica de la teoría con sus extensiones y revisiones teóricas y empíricas, sin aparente cambio radical de "paradigma" y sin un programa de investigación rival capaz de reemplazando; es interpretado a través de la metodología de los programas de investigación científica, propuestos por el epistemólogo Imre Lakatos y actualizada.

---

<sup>4</sup> "synthesis 6a" The Oxford English Dictionary. 2nd ed. 1989.

Empleando la metodología de Lakatos<sup>5</sup>, Pievani (2012: 217) argumenta que la transición en curso de la teoría sintética a la denominada síntesis evolutiva extendida (ES) se puede representar como un programa de investigación evolutiva anterior (ERP1), y un programa de investigación evolutiva nuevo (ERP2), con un núcleo neo-darwinista extendido y un cinturón protector de nuevos supuestos e hipótesis auxiliares con un enfoque explicativo pluralista e integrador.

El eje fundamental de este cambio conceptual es interno, y ha dependido de nuevas evidencias corroboradas y avances teóricos, sin desestimar la importancia de los factores externos de la ciencia como los sociales y psicológicos (Pievani 2012: 214).

Los estándares de evaluación de hipótesis y teorías están cambiando: la pruebas a través de la convergencia y consiliencia de datos se vuelven más y más importantes; vemos el nacimiento de líneas originalmente interdisciplinarias de investigaciones; funciones, estructuras e historias singulares, mezclados entre sí, recuperando el original pluralismo de las explicaciones evolutivas.

El núcleo extendido incluiría (Pievani, 2012: 222):

- A. El dominio descriptivo de la evolución; esto es la descendencia común con modificaciones, la continuidad de cualquier cambio evolutivo, la unidad filogenética de toda la vida, y el papel de los organismos como unidades básicas.

---

<sup>5</sup> Para Lakatos (Citado en Ruiz Gutiérrez, 2008) la teoría de la evolución de Darwin, sería un programa de investigación, en el que la selección natural es un principio heurístico que “desalienta” trabajar con teorías científicas inconsistentes, pero también estimula el trabajo en hipótesis que la salven de una contraevidencia. En general la continuidad de la historia de la ciencia se encuentra establecida por los programas científicos de investigación (RP), que son un conjunto de modelos, conceptos e hipótesis delimitados por las elecciones de una comunidad científica (Pievani, 2012: 218).

B. El dominio explicativo de los patrones plurales de cambio evolutivo.

B1 Patrones de variación: múltiples fuentes de variación no heredable directamente, genética y epigenética.

B2 Patrones selectivos: Selección multinivel.

B3 Patrones neutralistas: se refiere al dominio no adaptativo del núcleo extendido, con tres subpatrones: deriva génica; efectos estructurales no selectivos debidos a las constricciones genéticas y constricciones del desarrollo, y constricciones físico-químicas.

B4 Patrones macroevolutivos: una influencia externa sobre la macroevolución: extinciones en masa, cambios de pulso de las especies, radiaciones adaptativas rápidas, y transiciones mayores debidas a procesos como la simbiogénesis.

El núcleo que propone el autor, presenta una forma interesante de interpretar la particularidad del campo de la explicación evolutiva, y revela una profunda estructura ecológica-genealógica fundada en la complementariedad de tres clases de explicaciones (Pievani, 2012:223).

El *explanandum* de la teoría evolutiva es variacional (relativo a la diversidad orgánica, sus relaciones genealógicas y transformaciones) y adaptativo (en relación a la adecuación –fitness- y la complejidad de estructuras y conductas).

La arquitectura de los tipos de explicaciones descansa en tres pilares:

1) las explicaciones funcionales y selectivas de las causas remotas de emergencia de un rasgo;



2) las explicaciones estructurales de la relevancia de las limitaciones internas y sus ventajas y desventajas con las presiones externas;

3) las explicaciones históricas y contingentes de cadenas de acontecimientos singulares causales, y los cruzamientos entre cadenas de causas independientes, *a priori* impredecibles pero inteligibles *a posteriori*.

Podemos construir una red, a partir de esas explicaciones.

Por ejemplo, cuando importe aclarar exaptaciones y compromisos entre funciones y estructuras, analogías y homologías se pueden sumar 1+2; si interesa estudiar interferencias entre selección natural y procesos neutralistas y macroevolutivos, acudiríamos a explicaciones 1+3; cuando los procesos neutralistas crean limitaciones estructurales empleamos argumentos 2+3; y cuando necesitemos reconstrucciones totales de los caminos evolutivos acudiremos a soluciones 1+2+3. (Pievani, 2012:223)

El cinturón protector se propone plural y flexible, con una diversificación que concierne a los ritmos, unidades, niveles y modos de evolución, se podría establecer así:

- Una pluralidad de las tasas de evolución y especiación.
  
- Una serie de unidades de la evolución.
  
- Una pluralidad de la dinámica adaptativa y las interacciones entre las estructuras y las funciones.
  
- Una complejidad de las relaciones entre los niveles de la evolución: la plasticidad fenotípica; evolucionabilidad (Pievani, 2012:224).

El cinturón protector está sujeto a continuas modificaciones debido a las actualizaciones de evidencias.

Concuerdo con Pievani (2012:225) cuando afirma que un nuevo desafío teórico, como lo fue la teoría del Equilibrio Puntuado, en su fase temprana " revolucionaria" o consideraciones posteriores, no está necesariamente en relación con un epifenómeno marginal que rodea a un paradigma monolítico, o con una crisis radical de su núcleo; por lo contrario, podría significar una profunda ampliación y revisión de su estructura permaneciendo compatible con otros componentes de él.

Autores como Moya y Latorre (2004: 182-183) señalan que nuestra capacidad para comprender la vida se pierde cuando la descomponemos en partes para estudiarla y que falta una teoría de síntesis que cierre el círculo de análisis y afirman que

Para la explicación de la vida necesitamos una teoría general de la biología; de hecho necesitamos dos, que deben estar profundamente relacionadas: una sobre su origen, su construcción, y otra sobre su evolución...lo cierto es que estamos en el camino de la recomposición de las partes en un todo, o en el proceso de desarrollar una teoría de los sistemas biológicos.

## APÉNDICE 2

### CUESTIONARIO SEMIESTRUCTURADO DE RESPUESTAS ABIERTAS

Carrera de Biología

Grupo \_\_\_\_\_

Fecha \_\_\_\_\_

#### PRESENTACIÓN:

Este instrumento tiene como objetivo el conocer la información que los estudiantes de la licenciatura en Biología, tienen en relación al proceso macroevolutivo. Forma parte de un proyecto que pretende indagar la situación actual en el aula universitaria.

Le solicitamos atentamente que conteste con la mayor honestidad posible considerando el fin que se persigue, pero además sabiendo que es un cuestionario anónimo, y sin valor en la calificación de algún curso.

#### INSTRUCCIONES:

Lea cuidadosamente la información que se le proporciona, y escriba con letra legible en los espacios en blanco, lo que se le solicita.

1. Al revisar el registro de fósiles de una localidad, es posible que no se observe como una especie ha cambiado gradualmente en otra, esto puede deberse a

\_\_\_\_\_

2.\*<sup>6</sup> En el caso de los pinzones de Darwin, si estudiamos dos especies hoy, y dentro de mil generaciones otra vez, esperaríamos encontrar mayor diferencia morfológica entre ambas en la última ocasión? \_\_\_\_\_,  
debido a \_\_\_\_\_

2. Algunas especies como las cucarachas han experimentado pocos cambios morfológicos durante millones de años, esto se puede deber a \_\_\_\_\_

3. ¿Es común que las especies animales permanezcan morfológicamente estáticas o casi, por miles de años? \_\_\_\_\_

4. La teoría del Equilibrio puntuado postula que \_\_\_\_\_

Se agradece su amable colaboración

\_\_\_\_\_

<sup>6</sup> Esta pregunta fue eliminada ya que su formulación no resultó adecuada para el presente análisis.

### APÉNDICE 3

**TABLA DE GRUPOS A LOS QUE SE LES APLICÓ CUESTONARIO**

<b>Facultad y grupo</b>	<b>Fecha de aplicación del cuestionario</b>	<b>Observaciones Condiciones del grupo</b>
<b>FC 5009</b>	26-septiembre-2011	Son de primer semestre. No han visto el tema de macroevolución, están revisando a Darwin. La asignatura en que están inscritos es Filosofía e Historia de la Biología.
<b>FES Z 1102</b>	25-agosto-2011	Son estudiantes de primer semestre y verán el tema en el tercer semestre de forma obligatoria. En licenciatura no han revisado el tema en alguna asignatura.
<b>FES Z 1201</b>	25-agosto-2013	Son estudiantes de segundo semestre y verán el tema en el tercer semestre de forma obligatoria. En licenciatura no han revisado el tema en alguna asignatura. Se aplicó el cuestionario en la asignatura de Historia y Filosofía de la Biología, han revisado temas de la historia de las teorías evolucionistas.
<b>FESZ 2254</b>	20 marzo 2014	Son estudiantes de segundo semestre y verán el tema en el tercer semestre de forma obligatoria. En licenciatura no han revisado el tema en alguna asignatura. Se aplicó el cuestionario en la asignatura de Historia y Filosofía de la Biología, han revisado temas de la historia de las teorías evolucionistas.
<b>FES Z 2201</b>	21 marzo 2014	Son estudiantes de segundo semestre y verán el tema en el tercer semestre de forma obligatoria. En licenciatura no han revisado el tema en alguna asignatura. Se aplicó el cuestionario en la asignatura de Historia y Filosofía de la Biología, han revisado temas de la historia de las teorías evolucionistas.
<b>FESZ 2252</b>	24 marzo 2014	Son estudiantes de segundo semestre y verán el tema en el tercer semestre de forma obligatoria. En licenciatura no han revisado el tema en alguna asignatura. Se aplicó el cuestionario en la asignatura de Historia y Filosofía de la Biología, han revisado temas de la historia de las teorías evolucionistas.
<b>FESZ 1301</b>	19 agosto y 26 noviembre de 2014	Son estudiantes de tercer semestre que están inscritos en la asignatura de Biología Evolutiva actualmente, en este grupo se llevó a cabo la intervención propuesta en la presente investigación.
<b>FESZ 1351</b>	22 agosto y 28 noviembre de 2014	Son estudiantes de tercer semestre que están inscritos en la asignatura de Biología Evolutiva actualmente, en este grupo se consideró como grupo control en la presente investigación.
<b>FC 5176</b>	29-noviembre-2011	Este grupo es de sexto semestre que están tomando el curso de Evolución I, se hicieron observaciones en clase y videograbaciones, fue observación no participativa. Se aplicó el cuestionario dos semanas después de tratado el tema, fue

		una clase tipo conferencia expuesta por los profesores del grupo.
<b>FC 5284</b>	14-noviembre-2012	Grupo de sexto semestre de la Facultad de Ciencias que está tomando el curso de Evolución I. Se aplicó el cuestionario dos semanas después de tratado el tema, fue una clase tipo conferencia expuesta por los profesores del grupo.
<b>FES I 2603</b>	29-abril-2013	Están cursando el 6º semestre, la asignatura es Evolución y Paleontología es teórico-práctica. Al inicio del curso (febrero) se abordó el tema del Equilibrio Puntuado.
<b>FES I 2601</b>	16-mayo-2013	Están cursando el 6º semestre, la asignatura es Evolución y Paleontología es teórico-práctica. Se revisó el tema en clase.
<b>FC EFHSBE</b>	6-marzo-2013	Es un seminario en donde todos los alumnos ya cursaron la asignatura de Evolución I y ya vieron el tema de Equilibrio Puntuado. Se encuentran inscritos en diferentes semestres, algunos están llevando a cabo la tesis.

**En los resultados se incluyen los siguientes grupos**

<b>REGISTRO FÓSIL Y EXPLICACIÓN DE LA ESTASIS</b>	
<b>GRUPOS</b>	<b>SEMESTRE</b>
<b>FC5009</b>	<b>PRIMER</b>
<b>FESZ1102</b>	<b>PRIMER</b>
<b>FESZ1201</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FESZ2201a</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FESZ2252a</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FESZ2254a</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FC5284</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FC5176</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FESI 2603</b>	<b>SEXTO</b>

<b>FRECUENCIA DE ESTASIS</b>	
<b>GRUPOS</b>	<b>SEMESTRE</b>
<b>FC5009</b>	<b>PRIMERO</b>
<b>FESZ1102</b>	<b>PRIMERO</b>
<b>FESZ1201</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FC5176</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FC5284</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FESI 2603</b>	<b>SEXTO</b>

<b>CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	
<b>GRUPOS</b>	<b>SEMESTRE</b>
<b>FC5009</b>	<b>PRIMER</b>
<b>FESZ1102</b>	<b>PRIMER</b>
<b>FESZ1201</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FESZ2201a</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FESZ2252a</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FESZ2254a</b>	<b>SEGUNDO</b>
<b>FC5176</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FESI 2601d</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FESI 2603</b>	<b>SEXTO</b>
<b>FC SEM</b>	

<b>REGISTRO FÓSIL EXPLICACIÓN DE LA ESTASIS CONCEPTO DE EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>INTERVENCIÓN</b>
<b>GRUPO</b>	<b>SEMESTRE</b>
<b>FESZ1301a</b>	<b>TERCERO</b>
<b>FESZ1301d</b>	<b>TERCERO</b>
<b>FESZ1351a (Control)</b>	<b>TERCERO</b>
<b>FESZ1351d (Control)</b>	<b>TERCERO</b>

### **Abreviaturas**

**FC** Facultad de Ciencias

**FES I** Facultad de Estudios Superiores Iztacala

**FES Z** Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

**EFHSBE** Grupo de Taller de Estudios Filosóficos, Históricos y Sociales de Biología Evolutiva de la Facultad de Ciencias.

### **Profesores de los grupos por orden alfabético**

Dra. Eréndira Álvarez Pérez

Biól. Maricela Arteaga Mejía

Dra. Lorena del Carmen Caballero Coronado

M. en C. Irma Elena Dueñas

M. en C. Susana Esparza Soria

Dr. Lev Orlando Jardón Barbolla

M. en C. Alberto Méndez Méndez

M. en C. Víctor Manuel Moreno Torres

Dr. Ricardo Noguera Solano

I.Q. Mariano Ramos Olmos

Dra. Patricia Rivera García

Biól. Joel Romero Carmona

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez

Dra. Alejandra Valero Méndez

## APÉNDICE 4

### REGISTRO FÓSIL. CUESTIONARIOS, CATEGORÍAS FINALES, SEMIFINALES E INTERMEDIAS

<b>REGISTRO FÓSIL</b>			
<b>RESPUESTAS Y CUESTIONARIOS</b>			
<b>TODOS LOS GRUPOS</b>			
<b>GRUPOS</b>	<b>Cuestionarios contestados*</b>	<b>Respuestas Totales*</b>	<b>Respuestas válidas</b>
FC 5009	29	36	28
FESZ 1102	50	58	39
FESZ 1201	12	18	14
FESZ 2201	11	17	16
FESZ 2252	16	20	19
FESZ 2254	25	38	30
FC 5176	23	40	39
FC 5284	23	39	38
FESI 2603	29	42	39
<b>Totales</b>	<b>218</b>	<b>308</b>	<b>262</b>

\*Cada cuestionario puede tener más de una respuesta

**REGISTRO FÓSIL  
RELACIÓN ENTRE CATEGORÍAS FINALES E INTERMEDIAS**

CATEGORÍAS FINALES	GRADUALISTA	COMPATIBLE CON EL EQUILIBRIO PUNTUADO NO GRADUALISTA	TEORÍA DEL EQUILIBRIO PUNTUADO
<b>INTERMEDIAS</b>	1 al 7	10	20
	8	11	21
	13	18	23
	14	19	25
		22	
		24	

**Las categorías:** 9, 12, 15, 16, 17, 26, se consideraron no válidas

El criterio para adjudicar las respuestas a la categoría “Teoría del Equilibrio Puntuado” es estricto, ya que sólo se admiten respuestas que incorporan los términos puntuación, estasis o equilibrio puntuado, pero las respuestas “Compatibles con el Equilibrio Puntuado” incluyen a las no gradualistas considerando procesos rápidos y de permanencia.

**REGISTRO FÓSIL  
RELACIÓN ENTRE CATEGORÍAS SEMIFINALES E INTERMEDIAS**

CATEGORÍAS SEMIFINALES	GRADUALISTA	NO GRADUALISTA Permanencia	NO GRADUALISTA Procesos rápidos	TEORÍA DEL EQUILIBRIO PUNTUADO
<b>INTERMEDIAS</b>	1-7	11	10	20
	8	19	18	21
	13	24	22	23
	14			25

**Las categorías:** 9, 12, 15, 16, 17, 26, se consideraron no válidas.

Las respuestas compatibles con el equilibrio puntuado (no gradualistas) fueron susceptibles de dividirse en procesos rápidos, o de permanencia.



## APÉNDICE 5. DATOS DE LA PREGUNTA SOBRE LA ESTASIS CATEGORÍAS INTERMEDIAS Y FINALES

### ESTASIS. CATEGORÍAS INTERMEDIAS

- 1 Estasis
- 2 Constricciones genéticas o constricciones en el desarrollo
- 3 Tienen poca variación/baja tasa de mutación genética
- 4 Su estructura, morfología, cuerpo, características, plan corporal o diseño les han permitido sobrevivir
- 5 Que sus cuerpos no necesitan grandes cambios morfológicos para adaptarse
- 6 Su composición genética / alelos adecuados
- 7 Sobrevivencia mayor que otras especies
- 8 Exaptación
- 9 Plasticidad fenotípica o adaptativa<sup>7</sup>
- 10 Mutaciones neutrales
- 11 Selección estabilizadora seguida de retención de caracteres adaptativos
- 12 El ambiente no cambia / No ha habido presión adaptativa o presión ambiental o mucha competencia
- 13 No ha habido cambio en sus necesidades /No necesitan evolución (o modificaciones) para adaptarse (o no tanto) x / no necesitan adaptación/ no necesitan cambiar
- 14 Pocos cambios en su nicho / Pocos cambios en su comportamiento
- 15 Porque son generalistas/ o el rango del nicho es grande/ son cosmopolitas
- 16 Su forma de vida/ su tipo de adaptación al medio/ sus hábitos ecológicos
- 17 Han alcanzado un pico adaptativo/ nivel alto de adecuación
- 18 Su éxito como especie
- 19 Su éxito en la adaptación (han sido exitosos por alguna propiedad de la especie) / sus adaptaciones han funcionado
- 20 Ya se encuentran adaptadas al medio donde están
- 21 Adaptadas o resistentes para soportar cambios (bruscos o no)/ o condiciones extremas/ o nuevos ambientes / Resistencia al medio/ soportan el estrés ambiental
- 22 Adaptados a cualquier situación
- 23 Capaces de mutar
- 24 Poca endogamia o altas tasas de recombinación
- 25 Su reproducción acelerada/ amplia tasa reproductiva
- 26 Tienen una larga vida
- 27 Selección natural / Otros cambios que pudieran surgir fueron eliminados
- 28 La facilidad o capacidad de adaptarse
- 29 El medio va a tener modificaciones
- 30 Deriva génica
- 31 Nivel alto de evolución
- 32 Por estar aislados geográficamente
- 33 Su capacidad de uso y desuso
- 34 Ya están adaptados a cambios que aún no se originan permitido sobrevivir

---

<sup>7</sup> La plasticidad fenotípica es la capacidad de un organismo de producir fenotipos diferentes en respuesta a cambios en el ambiente (Schmalhausen, 1949), es un fenómeno general en el que los individuos modifican sus fenotipos en respuesta a señales ambientales (Cuadrado et al, 2016).

<b>EXPLICACIÓN ESTASIS</b>			
<b>RESPUESTAS Y CUESTIONARIOS</b>			
<b>TODOS LOS GRUPOS</b>			
<b>GRUPOS</b>	<b>Cuestionarios contestados*</b>	<b>Respuestas Totales*</b>	<b>Respuestas válidas</b>
FC 5009	27	25	8
FESZ 1102	47	50	27
FESZ 1201	12	11	7
FESZ 2201	25	30	14
FESZ 2252	28	31	13
FESZ 2254	26	32	12
FC 5176	23	31	19
FC 5284	23	36	27
FESI 2603	19	24	14
<b>Totales</b>	<b>230</b>	<b>270</b>	<b>141</b>

\*Cada cuestionario puede tener más de una respuesta

<b>ESTASIS</b>			
<b>RELACIÓN ENTRE CATEGORÍAS INTERMEDIAS Y FINALES</b>			
<b>CATEGORÍAS FINALES</b>	<b>EQUILIBRIO PUNTUADO</b>	<b>TEORÍA SINTÉTICA DE LA EVOLUCIÓN</b>	<b>INCOMPATIBLE CON EP O TSE*</b>
<b>INTERMEDIAS</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>3</b>
	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>4</b>
	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>5</b>
	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
		<b>14</b>	<b>13</b>
		<b>15</b>	<b>22</b>
		<b>16</b>	<b>23</b>
		<b>17</b>	<b>24</b>
		<b>18</b>	<b>25</b>
		<b>19</b>	<b>26</b>
		<b>20</b>	<b>29</b>
		<b>21</b>	<b>30</b>
		<b>27</b>	<b>31</b>
		<b>28</b>	<b>32</b>
			<b>33</b>
			<b>34</b>

\*Las respuestas resultaron no ser compatibles con la teoría sintética o el equilibrio puntuado, en este caso se consideraron no válidas.

TABLA 21a. EXPLICACIÓN ESTASIS RESPUESTAS POR CATEGORÍAS INTERMEDIAS PRE-INTERVENCIÓN. GRUPO CONTROL.																						
	E. PUNTUADO				TEORÍA SINTÉTICA																	Cuestionarios
	1	2	7	8	6	9	10	11	14	15	16	17	18	19	20	21	27	28	RV	NV	RT	
FESZ 1351	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	0	0	6	15	17	32	26
Subtotal														9	2	15		1				
Clave de Alumnos														10	3			6				
														14	4			11				
														15	12			18				
														24				21				
																		25				
				0														15				
NV=RESPUESTAS NO VÁLIDAS				RV=Respuestas válidas									RT=32 Respuestas totales									

TABLA 21b. EXPLICACIÓN ESTASIS RESPUESTAS POR CATEGORÍAS INTERMEDIAS POST- INTERVENCIÓN. GRUPO CONTROL																						
	E. PUNTUADO				TEORÍA SINTÉTICA																	Cuestionarios
	1	2	7	8	6	9	10	11	14	15	16	17	18	19	20	21	27	28	RV	NV	RT	
FESZ 1351	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2	0	0	0	3	9	25	34	33
Subtotal																		22				
Clave de Alumnos	3				17				18			16		2				23				
														11				28				
				1														8				
NV=RESPUESTAS NO VÁLIDAS				RV=Respuestas válidas									RT= Respuestas totales									

TABLA 21c. EXPLICACIÓN ESTASIS  
RESPUESTAS POR CATEGORÍAS INTERMEDIAS  
PRE- INTERVENCIÓN PDHI

	E. PUNTUADO				TEORÍA SINTÉTICA														RV	NV	RT	Cuestionarios	
	1	2	7	8	6	9	10	11	14	15	16	17	18	19	20	21	27	28					
FESZ 1301 subtotal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	2	0	1	7	9	16	16	
Clave de Alumnos										12				1	2	7		6					
														16		9							
	0																		7				
NV=RESPUESTAS NO VÁLIDAS					RV=Respuestas válidas							RT=16 Respuestas totales											

TABLA 21d. EXPLICACIÓN ESTASIS  
RESPUESTAS POR CATEGORÍAS INTERMEDIAS  
POST- INTERVENCIÓN. PDHI

	E. PUNTUADO				TEORÍA SINTÉTICA														RV	NV	RT	Cuestionarios	
	1	2	7	8	6	9	10	11	14	15	16	17	18	19	20	21	27	28					
Clave de Alumnos	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	0	0	12	11	23	22	
	9				21									4	7								
	12													11	14								
	13													15	18								
	23														19								
	4																		8				
RT= RESPUESTAS TOTALES					RV=RESPUESTAS VÁLIDAS							NV=RESPUESTAS NO VÁLIDAS											

**APÉNDICE 6. TABLAS DE REGISTRO FÓSIL.  
RESPUESTAS POR CATEGORÍA INTERMEDIA**

TABLA 22a. REGISTRO FÓSIL  
RESPUESTAS POR CATEGORÍA INTERMEDIA

GRADUALISMO										NO GRADUALISMO						EP			
1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	10	11	18	19	22	24	20	21	23	25
2	1	13	9	5		14		27				2					14		
4	3	22																	
10	8																		
12	16																		
15	19																		
	20																		
	21																		
	25																		
	26																		
5	9	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
20										1						1			
21 CUESTIONARIOS VÁLIDOS										22 RESPUESTAS VÁLIDAS									

TABLA 22b. REGISTRO FÓSIL  
RESPUESTAS POR CATEGORÍA INTERMEDIA  
POST-INTERVENCIÓN. GRUPO CONTROL

GRADUALISMO										NO GRADUALISMO						EP			
1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	10	11	18	19	22	24	20	21	23	25
32	1	9	0	5		16		19	24	1		10		2		21	3		6
	4							28	25								33		
	7								32										
	12																		
	15																		
	21																		
	22																		
	29																		
	32																		
1	9	1	0	1	0	1	0	2	3	1	0	1	0	1	0	1	2	0	1
18										3						4			
33 CUESTIONARIOS CONTESTADOS										38 RESPUESTAS TOTALES						25 RESPUESTAS VÁLIDAS			

TABLA 22c. REGISTRO FÓSIL  
RESPUESTAS POR CATEGORÍAS INTERMEDIAS  
PRE-INTERVENCIÓN. PDHI

Categorías Intermedias																			
GRADUALISMO										NO GRADUALISMO						EP			
1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	10	11	18	19	22	24	20	21	23	25
6	4		16			5	12	11					14				8		1
9	7																9		
10	11																		
	13																		
	15																		
3	5	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	1
12										1						3			
36 CUESTIONARIOS CONTESTADOS										16 RESPUESTAS VÁLIDAS						18 RESPUESTAS TOTALES			

TABLA 22d. REGISTRO FÓSIL  
RESPUESTA POR CATEGORÍA INTERMEDIA  
POST-INTERVENCIÓN. PDHI

Categorías Intermedias																			
GRADUALISMO										NO GRADUALISMO						EP			
1	2	3	4	5	6	7	8	13	14	10	11	18	19	22	24	20	21	23	25
5	2	11								10		4	16	19		5	3		
7	4	13										18	21			8	12		
	6	23														15	13		
	9																22		
	15																		
	17																		
	18																		
2	7	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	3	4	0	0
12										6						7			
22 CUESTIONARIOS CONTESTADOS										25 RESPUESTAS VÁLIDAS						27 RESPUESTAS TOTALES			

**APÉNDICE 7.**  
**MAPA CURRICULAR DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA. FACULTAD DE CIENCIAS, FES IZTACALA, FES ZARAGOZA.**

Plan de Estudios de la Licenciatura en Biología de la Facultad de Ciencias<sup>8</sup>.

Mapa Curricular

Primer Semestre					
<u>Química</u>	<u>Matemáticas I</u>	<u>Física</u>	<u>Biología de Procariontes</u>	<u>Filosofía e Historia de la Biología</u>	
Segundo Semestre					
<u>Química Orgánica</u>	<u>Matemáticas II</u>	<u>Biología Molecular de la Célula I</u>	<u>Biología de Protistas y Algas I</u>	<u>Sistemática-</u>	
Tercer Semestre					
<u>Ciencias de la Tierra</u>	<u>Bioestadística</u>	<u>Biología Molecular de la Célula II</u>	<u>Biología Molecular de la Célula III</u>	<u>Biología de Plantas I</u>	
Cuarto Semestre					
<u>Paleobiología</u>	<u>Biogeografía I</u>	<u>Biología de Hongos</u>	<u>Biología de Animales I</u>	<u>Genética I</u>	<u>Biología de Plantas-II</u>
Quinto Semestre					
<u>Taller</u>	<u>Optativa</u>	<u>Biología de Animales II</u>	<u>Ecología I</u>	<u>Biotecnología I</u>	
Sexto Semestre					
<u>Taller</u>	<u>Optativa</u>	<u>Biología de Animales III</u>	<u>Evolución I</u>	<u>Recursos Naturales</u>	
Septimo Semestre					
<u>Taller</u>	<u>Optativa</u>	<u>Optativa</u>			
Octavo Semestre					
<u>Taller</u>	<u>Optativa</u>	<u>Optativa</u>			

<sup>8</sup> Facultad de Ciencias, UNAM. (s.f.). Plan de Estudios de la Licenciatura en Biología. Recuperado el 17 de junio de 2012, del Sitio web de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México:

## PLAN DE ESTUDIOS CARRERA DE BIOLOGÍA FES IZTACALA

### ESTRUCTURA Y SERIACION DEL PLAN ESTUDIOS FES IZTACALA<sup>99</sup>

PLAN DE ESTUDIOS: 0051

**NIVEL: LICENCIATURA** PRIMERA  
GENERACION: **1995**

**SISTEMA: ESCOLARIZADO** VIGENCIA: **PRIMER**  
**INGRESO** Y  
**REINSCRIPCION**

**DURACION: 8** LIM. DE INSC. POR  
**SEMESTRES** PERIODO:

BIOLOGO

CREDITOS OBLIGATORIOS: **406**

CREDITOS OPTATIVOS: **40**

CREDITOS TOTALES: **446**

CLAVE	NOMBRE DE LA ASIGNATURA	CREDITOS	REQUISITOS DE INSCRIPCION
PRIMER SEMESTRE			
	MODELOS FISICOQUIMICOS	15	
	GEOBIOLOGIA	8	
	METODOLOGIA CIENTIFICA I	18	
	MODELOS MATEMATICOS I	10	
SEGUNDO SEMESTRE			
	BIOMOLECULAS	15	
	HISTORIA BIOL.-FUND. EDUC. AMB	8	
	METODOLOGIA CIENTIFICA II	18	
	MODELOS MATEMATICOS II	10	
TERCER SEMESTRE			
	BIOLOGIA CELULAR-BIOQUIMICA	15	
	GENETICA	10	
	BIOLOGIA DEL DESARROLLO	15	
	METODOLOGIA CIENTIFICA III	18	

<sup>99</sup> FES Iztacala, UNAM. (s.f.). Plan de estudios carrera de Biología. Recuperado el 17 de junio de 2012, del Sitio web de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, de la Universidad Nacional Autónoma de México:

[http://www.iztacala.unam.mx/uae/uae\\_planest\\_biol.php](http://www.iztacala.unam.mx/uae/uae_planest_biol.php)



CUARTO SEMESTRE			
	DIVERSIDAD VEGETAL I	15	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	DIVERSIDAD ANIMAL I	15	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	MORFOFISIOLOGIA ANIMAL	12	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	METODOLOGIA CIENTIFICA IV	18	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
QUINTO SEMESTRE			
	DIVERSIDAD VEGETAL II	15	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	DIVERSIDAD ANIMAL II	15	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	MORFOFISIOLOGIA VEGETAL	12	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	METODOLOGIA CIENTIFICA V	18	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
SEXTO SEMESTRE			
	ECOLOGIA Y CONSERVACION	15	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	EVOLUCION Y PALEONTOLOGIA	15	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	MANEJO DE RECURSOS NATURALES	12	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
	METODOLOGIA CIENTIFICA VI	18	CICLO 1 Y CICLO 2 Y CICLO 3
SEPTIMO SEMESTRE			
	LAB.INV.CIENTIF.-TECNOLOG.I	25	CICLO 4 , 5, 6
	TALLER DE ADMON.EN BIOLOGIA	8	CICLO 4, 5, 6
	OPTATIVA		
	OPTATIVA		
OCTAVO SEMESTRE			
	LAB.INV.CIENTIF.-TECNOLOG.II	25	CICLO 4, 5, 6
	TALLER PROFES.DE LA BIOLOGIA	8	CICLO 4, 5,
	OPTATIVA		
	OPTATIVA		

Mapa curricular del plan de estudios 2006 por bloques, básico y de libre configuración

CICLO BÁSICO			CICLO INTERMEDIO			CICLO TERMINAL	
1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
LIDERAZGO 2 créditos 0T/2P			IDENTIFICACIÓN DE NICHOS DE MERCADO 2 créditos 0T/2P	INCUBADORA DE EMPRESAS 2 créditos 0T/2P	ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS NATURALES 8 créditos 4T/0P	LEGISLACIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SUSTENTABLE 8 créditos 4T/0P	GESTIÓN EMPRESARIAL 2 créditos 0T/2P
	VIRUS, BACTERIAS, ALGAS Y HONGOS 6 créditos 3T/0P	PLANTAS SIN SEMILLA 8 créditos 3T/0P	PLANTAS CON SEMILLA 8 créditos 4T/0P	MORFOGENESIS Y FISIOLÓGIA DE PLANTAS CON SEMILLA 8 créditos 4T/0P	EDAFOLOGÍA 8 créditos 4T/0P	OPTATIVA DE ELECCIÓN I 6 créditos 3T/0P	OPTATIVA DE ELECCIÓN II 6 créditos 3T/0P
		EMBRIOLOGÍA ANIMAL 8 créditos 3T/0P	MORFOFISIOLOGÍA ANIMAL I 10 créditos 5T/0P	DIVERSIDAD ANIMAL I 6 créditos 3T/0P	DIVERSIDAD ANIMAL II 6 créditos 3T/0P	OBLIGATORIA DE ELECCIÓN I 6 créditos 3T/0P	OBLIGATORIA DE ELECCIÓN II 6 créditos 3T/0P
CIENCIAS DE LA TIERRA 8 créditos 4T/0P	HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA BIOLOGÍA 8 créditos 3T/0P	BIOLOGÍA EVOLUTIVA 8 créditos 4T/0P	SISTEMÁTICA 8 créditos 4T/0P	BIOGEOGRAFÍA 8 créditos 4T/0P			
	GENÉTICA 10 créditos 5T/0P	BIOLOGÍA MOLECULAR DE LA CÉLULA I 10 créditos 5T/0P	BIOLOGÍA MOLECULAR DE LA CÉLULA II 10 créditos 5T/0P	INTRODUCCIÓN A LA BIOTECNOLOGÍA 6 créditos 3T/0P	OPTATIVA GENERAL I 6 créditos 3T/0P	OPTATIVA GENERAL II 6 créditos 3T/0P	OBLIGATORIA DE ELECCIÓN II 6 créditos 3T/0P
QUÍMICA GENERAL 10 créditos 5T/3 TALLER	QUÍMICA ORGÁNICA 8 créditos 3T/2 TALLER	FISICOQUÍMICA I 8 créditos 4T/0P	FISICOQUÍMICA II 8 créditos 4T/0P		QUÍMICA AMBIENTAL 8 créditos 3T/0P		
MATEMÁTICAS I 8 créditos 3T/2 TALLER	MATEMÁTICAS II 8 créditos 3T/2 TALLER	BIOMETRÍA 10 créditos 4T/2 TALLER		ECOLOGÍA GENERAL 6 créditos 4T/0P	ECOLOGÍA ACUÁTICA 8 créditos 4T/0P		
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA I 10 créditos 0T/10P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA II 10 créditos 0T/10P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA III 10 créditos 0T/10P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA IV 10 créditos 0T/10P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA V 10 créditos 0T/10P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA VI 10 créditos 0T/10P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA VII 18 créditos 0T/18P	LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN FORMATIVA VIII 18 créditos 0T/18P

<sup>10</sup> FES Zaragoza UNAM. (s.f.). Mapa curricular de la licenciatura en biología. Recuperado el 16 de septiembre de 2015, del Sitio web de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, de la Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.zaragoza.unam.mx/main.php>