



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**“TEXTOS DE USO FRECUENTE EN LA SECUNDARIA QUE
PROPICIAN CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE CONCEPTOS DE
LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

LAURA ELENA REYES MIJARES

DIRECTORA DE TESIS:

MTRA. ERÉNDIRA ÁLVAREZ PÉREZ

2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

HOJA DE DATOS DEL JURADO

1. Datos del alumno

Reyes

Mijares

Laura Elena

53 43 37 03

Universidad Nacional Autónoma de

México

Facultad de Ciencias

Biología

3. Sinodales

Dr.

Ricardo

Noguera

Solano

M. en Ped.

Grisel

Rodríguez

Reyes

Lic. en Psic.

Leobardo Antonio

Rosas

Chávez

Dr.

María del Carmen

Sánchez

Mora

2. Datos del tutor

M.en C.

Eréndira

Álvarez

Peréz

4. Datos del trabajo escrito

Textos de uso frecuente en la
secundaria que propician
concepciones alternativas
de conceptos de la
evolución biológica

181 p

2013

<u>INTRODUCCIÓN</u>	5
<u>CAPÍTULO 1</u> MARCO TEÓRICO: BIOLOGÍA EVOLUTIVA	
1.1 LA ESTRUCTURA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN.....	18
1.2 EVOLUCIÓN BIOLÓGICA.....	28
1.3 VARIACIÓN.....	39
1.4 SELECCIÓN NATURAL Y ADAPTACIÓN	
1.4.1 SELECCIÓN NATURAL.....	61
1.4.2 ADAPTACIÓN.....	76
1.5 ESPECIACIÓN.....	86
<u>CAPÍTULO 2</u> MARCO TEÓRICO: OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS Y CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA.....	101
2.1 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS.....	102
2.2 CONCEPCIONES ALTERNATIVAS.....	112
2.3 RELACIÓN ENTRE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS Y CONCEPCIONES ALTERNATIVAS.....	118
2.4 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS Y CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA.....	122
<u>CAPÍTULO 3</u> DESARROLLO Y RESULTADOS. ANÁLISIS DE TEXTOS DE USO FRECUENTE EN EDUCACIÓN SECUNDARIA DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA.....	139
3.1 LIBRO 1.....	145
3.2 LIBRO 2.....	153
3.3 LIBRO 3.....	159

3.4 LIBRO 4.....	164
RESULTADOS.....	166
<u>CONCLUSIONES</u>	169
<u>REFERENCIAS</u>	172

INTRODUCCIÓN

✓ **Delimitación del tema de investigación:**

Esta investigación trata de las llamadas «concepciones alternativas» de los estudiantes. Las concepciones alternativas son interpretaciones de fenómenos naturales y conceptos científicos —funcionales para el individuo—, que resultan en explicaciones, descripciones, y predicciones alejadas conocimiento científico [http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx; Astolfi, 1994].

Por ser esta una tesis de biología, el tipo de concepciones alternativas que este proyecto aborda son las relacionadas con conceptos de la evolución biológica. Hoy en día, en la Facultad de Ciencias, el Grupo de Estudios Históricos, Filosóficos y Sociales de la Ciencia tiene importantes líneas de investigación sobre la enseñanza de la evolución.

Esta investigación es un análisis del contenido de 4 libros de texto de biología utilizados en el primer año de la educación secundaria de México. El análisis consistió en identificar en estos libros, elementos textuales que podrían¹ propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas acerca de conceptos de la evolución biológica.

✓ **Justificación:**

Un problema importante en la enseñanza y el aprendizaje la biología evolutiva, es que los estudiantes tienen dificultades para aprender conceptos centrales de la evolución biológica aún después de la instrucción en la escuela. Los alumnos elaboran concepciones alternativas persistentes que no coinciden con el conocimiento científico.

¹ Cabe aclarar que queda fuera de los objetivos de esta tesis comprobar si propician, favorecen, o refuerzan las concepciones alternativas.

Estas concepciones alternativas se construyen a partir de las experiencias y observaciones de la vida cotidiana, del profesorado, de los libros de texto —y otros materiales escolares—, de la interferencia del lenguaje cotidiano y el científico, de los medios de comunicación, y de la cultura en general [Bañas, C., Mellado, V., y Ruiz, C., 2004; Hernández, Álvarez, y Ruiz, 2009].

Los libros de texto de ciencia pueden propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas en los estudiantes. De hecho, muchos autores han evaluado el tratamiento que se le da al tema de la evolución biológica en los libros de texto de diversas partes del mundo, y han encontrado que, en muchos casos, los libros analizados no solo no toman en cuenta las dificultades de los estudiantes, sino que incluso no constituyen un buen recurso para la educación tradicional [Aleixandre, 1994; Swarts et al., 1994; Jeffery and Roach, 1994, citados en, Tidon y Lewontin, 2004].

En este sentido, la siguiente investigación puede ser de utilidad ya que aporta a los profesores elementos teóricos —que son los ejemplos de las concepciones alternativas y de los elementos textuales que no favorecen la comprensión de la biología evolutiva—, que pueden funcionarles como herramientas al momento de elegir y utilizar el libro de texto de biología con el que orientarán su clase. Los profesores pueden estudiar los resultados de este trabajo, para posteriormente utilizarlos como ejemplos. Así, independientemente del libro que elijan de entre todos los que permite la SEP, tendrán la capacidad de reconocer algunas concepciones alternativas y algunos elementos textuales que dificultan el aprendizaje de la biología evolutiva.

A continuación se presenta la justificación de esta investigación: La importancia de que los alumnos de secundaria aprendan biología evolutiva. Para esta investigación se abordaron 3 aristas: el área de educación, el área personal, y el área social.

A) Área de educación:

La teoría de la evolución es el núcleo de la biología contemporánea. Es la teoría unificadora de la biología. “Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la

evolución”, dijo Dobzhansky. La teoría evolutiva es indispensable para comprender las denominadas *causas últimas* de los fenómenos biológicos, es decir, para responder los *por qué* de los sistemas biológicos [Alcock, 1998; Mayr, 1998, citados en, González y Meinardi, 2005]. Hablando desde la teoría de Kuhn, la teoría de la evolución es el paradigma dominante de la biología de hoy. En este sentido, es de total importancia que la teoría evolutiva se enseñe acertadamente en todas las aulas de México.

¿Por qué se analizaron específicamente los libros de texto de la educación secundaria en esta investigación? Porque es fundamental que durante la secundaria los alumnos aprendan biología evolutiva, ya que en México, la educación secundaria es la última oportunidad que tienen los jóvenes que no ingresan a la educación media superior o superior (más de la mitad de los jóvenes de entre 15 y 18 años no asisten a la escuela) para aprender biología evolutiva (aunque lamentablemente en México, la cobertura de la educación secundaria es sólo del 64%) [Mexicanos Primero, 2009]. El análisis fue de los libros de texto específicamente porque son el recurso didáctico orientador de la práctica docente, son el recurso más usado por los profesores en la enseñanza.

B) Área personal

En una investigación publicada en la revista *Science Education*², se les solicitó a los estudiantes de una escuela secundaria de Estado Unidos de Norteamérica que escribieran libremente sus ideas acerca de cómo impacta en las personas y la sociedad conocer la teoría de la evolución. Basados en estos textos y en estudios detallados sobre creacionismo y evolucionismo, los investigadores identificaron 5 áreas en las que impacta la teoría de la evolución [Brem, et al., 2003] (Si bien esta investigación se realizó en EUA, estas áreas identificadas pueden considerarse válidas en otros contextos).

² Brem S., Ranney M., y Schindel J. (2003). Perceived Consequences of Evolution: College Students Perceive Negative Personal and Social Impact in Evolutionary Theory. *Science Education*, 87(2), pp.181-206.

- La teoría evolutiva impacta en la idea que tienen las personas de que existe *un propósito* en la vida.
- La teoría evolutiva impacta en los sentimientos de espiritualidad.
- La teoría evolutiva impacta en la percepción que se tiene de lo que es una *raza* o una *etnia*.
- La teoría evolutiva impacta en el concepto de *egoísmo*
- La teoría evolutiva impacta en el sentido de *autonomía* de cada persona

La ciencia de la evolución tiene consecuencias que van desde la forma en que interpretamos la conducta humana hasta nuestra noción de lo espiritual y del sentido de la existencia. Sin embargo, no hay una última respuesta sobre lo que significa la evolución biológica para los individuos y la sociedad [Brem, et al., 2003].

Para la que suscribe aprender biología evolutiva tiene repercusiones positivas en la percepción que se tiene de la existencia. Por ejemplo, en la escuela, la teoría de la evolución puede aprenderse con paseos, de prácticas de campo, de ver por el microscopio, de convivir con animales, de acampar, de conocerse a sí mismos por medio de juegos, etcétera. Es así como los profesores pueden sensibilizar, provocar curiosidad, e introducir a los adolescentes de secundaria al conocimiento del mundo natural. Se sabe que es difícil la situación por la que atraviesan los jóvenes mexicanos. La violencia psicológica y física, la falta de oportunidades, la exclusión, la enajenación mediática, las adicciones, etc. han cubierto sus ojos y les han negado la oportunidad de sentirse vivos y plenos. Los jóvenes pueden encontrar en la maravilla de la existencia, un consuelo que alivie el dolor que los abrumba. Conocer sobre la extraordinaria diversidad de los organismos, sobre las complejidades de la célula, del desarrollo embrionario, del cerebro humano, y sobre cómo estas maravillas llegaron a existir, es profundamente gratificante e inspirador [Futuyma, 2009].

Para Dawkins [1996], la teoría de la evolución es algo maravilloso cuyo conocimiento brinda plenitud. En una conferencia televisada describió de forma bellísima lo que piensa y siente sobre la evolución del mundo natural:

El sentimiento de admiración y veneración que la ciencia puede provocarnos, es una de las mayores experiencias de que la psique humana es capaz. Se trata de una profunda pasión estética igual a la que nos puede dar la música y la poesía. Es realmente una de las cosas que hace que valga la pena vivir, y lo hace, si cabe, con mayor eficacia si se nos convence de que el tiempo que tenemos para vivir es finito [Dawkins, 1998, p.X]³.

"Todo arte", dice Oscar Wilde, "es perfectamente inútil"⁴ [Dawkins, 1998]. Wilde quiso decir como un gran elogio que: el arte es una creación humana que no necesita justificarse utilitariamente, una creación se justifica simplemente por ser una expresión de la humanidad. Mucho de lo que es más significativo para nosotros es "perfectamente inútil": la música, los atardeceres, caminar en una playa virgen, la poesía, jugar con un perro, el cine, la meditación, etc. De igual manera, al comprender las matemáticas, el mundo natural, la filosofía, o la naturaleza humana, la recompensa es el conocimiento en sí mismo independientemente de las implicaciones prácticas del mismo.

C) Área social

En México, la población debería aprender la teoría evolutiva, ya que esta tiene numerosas implicaciones científicas, filosóficas e ideológicas.

De un tiempo para acá (1994-2013 aproximadamente), los gobiernos mexicanos han buscado acabar con la separación Iglesia-Estado (dictada en las Leyes de reforma). Estos grupos conservadores en el poder quieren fortalecer en la sociedad las creencias místico-religiosas y acabar con el laicismo⁵ en las escuelas. En este sentido, pelagra la

³ **La cita en su idioma original:** *"The feeling of awed wonder that science can give us is one of the highest experiences of which the human psyche is capable. It is a deep aesthetic passion to rank with the finest that music and poetry can deliver. It is truly one of the things that makes life worth living and it does so, if anything, more effectively if it convinces us that the time we have for living it is finite"* [Dawkins, 1998, p.X].

⁴ **La cita en su idioma original:** "All art," dice Oscar Wilde, "is perfectly useless" [Dawkins, 1998, pp.X].

⁵ **Laicismo:** "Doctrina que defiende la separación del hombre o de la sociedad, y más particularmente del Estado, respecto de cualquier organización o confesión religiosa" [Real Academia Española, RAE].

libre investigación, enseñanza, y difusión de las teorías científicas acerca del origen y la evolución de la vida. Por lo tanto:

“jóvenes y adolescentes de este país (y de todo el mundo) deben recibir, más que nunca, una educación de acuerdo con los conocimientos universales, de acuerdo con los principios de justicia, libertad y de ejercicio de la crítica racional, pero intransigente frente al fanatismo, la ignorancia y la brutalidad” [Muñoz, 2009, p.19]...

...porque es la ignorancia uno de los mejores caldos de cultivo de las posturas opresoras y fascistas⁶ de los grupos de derecha⁷ que operan en México [Muñoz, 2009]. En otro plano, en una dimensión colectiva (mundial), el conocimiento científico en general —incluido el reconocimiento del hecho de la evolución y su teoría— implica para la humanidad conocedora un compromiso con ella misma y con su planeta: Según la “Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico” o “Declaración de Budapest”⁸,

“La profundización ininterrumpida de los conocimientos científicos sobre el origen, las funciones y la evolución del universo y de la vida dota (a) la humanidad de enfoques conceptuales y pragmáticos que ejercen una influencia profunda en su conducta y sus perspectivas”.

⁶ **Fascismo:** En concreto, el fascismo fue un “Movimiento político y social de carácter totalitario que se produjo en Italia, por iniciativa de Benito Mussolini, después de la Primera Guerra Mundial”. El “totalitarismo” es un “Régimen político que ejerce fuerte intervención en todos los órdenes de la vida nacional, concentrando la totalidad de los poderes estatales en manos de un grupo o partido que no permite la actuación de otros partidos” [RAE].

⁷ **De derecha:** En concreto, un grupo de “derecha” es un “Conjunto de personas que profesan ideas conservadoras” [RAE].

⁸ La “**Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el Siglo XXI: Un nuevo compromiso**” se llevó a cabo en Budapest, Hungría, del 26 de junio al 1º de julio de 1999, con los auspicios de la *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura* (UNESCO) y el *Consejo Internacional para la Ciencia* (ICSU). De esta conferencia nació la “Declaración de Budapest. Declaración sobre la Ciencia y el uso del saber científico”, en la cual los participantes (la *Organización de Estados Iberoamericanos* (OEI)) se comprometen “a hacer todo lo posible para promover el diálogo entre la comunidad científica y la sociedad, a actuar con ética y espíritu de cooperación en (...) (sus) esferas de responsabilidad respectivas a fin de consolidar la cultura científica y su aplicación con fines pacíficos en todo el mundo, y a fomentar la utilización del saber científico en pro del bienestar de las poblaciones y de la paz y el desarrollo sostenibles, teniendo en cuenta los principios sociales y éticos mencionados” [Conferencia Mundial sobre La Ciencia para el Siglo XXI, 1999].

“Todos vivimos en el mismo planeta y formamos parte de la biosfera. Reconocemos ahora que nos encontramos en una situación de interdependencia creciente y que nuestro futuro es indisoluble de la preservación de los sistemas de sustentación de la vida en el planeta y de la supervivencia de todas las formas de vida. Los países y los científicos del mundo deben tener consciencia de la necesidad apremiante de utilizar responsablemente el saber de todos los campos de la ciencia (incluida la biología evolutiva) para satisfacer las necesidades y aspiraciones del ser humano sin emplearlo de manera incorrecta”.

“Todas las culturas pueden aportar un conocimiento científico de valor universal. Las ciencias deben estar al servicio del conjunto de la humanidad y contribuir a dotar a todas las personas de una comprensión más profunda de la naturaleza y la sociedad, una mejor calidad de vida y un entorno sano y sostenible para las generaciones presentes y futuras”.

La práctica de la investigación científica y la utilización del saber derivado de esa investigación debería tener siempre estos objetivos: lograr el bienestar de la humanidad, comprendida la reducción de la pobreza; respetar la dignidad y los derechos de todos los seres humanos (y también de los animales), así como el medio ambiente del planeta; y tener plenamente en cuenta la responsabilidad que nos incumbe con respecto a las generaciones presentes y futuras”.

[Conferencia Mundial sobre La Ciencia para el Siglo XXI, 1999, pp.1, 8].

✓ **Preguntas de investigación:**

⇒ ¿Los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes?

⇒ ¿Qué elementos textuales de estos libros de texto podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes?

⇒ ¿Por qué estos elementos textuales podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes?

✓ **Hipótesis:** Los libros de texto de biología de secundaria contienen elementos textuales que sí podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes.

✓ **Objetivos**

Objetivo general:

Identificar los elementos textuales de los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— que podrían favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes.

Objetivos específicos:

1. Responder a la pregunta general de si los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.
2. Explicar el por qué cada elemento textual que se subrayó en los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.

✓ **Metodología:**

Se eligieron 4 libros de primero de secundaria “Ciencia 1 (con énfasis en biología)” de la librería “Casa del libro” ubicada en Ciudad Satélite (Naucalpan, Estado de México).

El criterio para elegirlos fue que fueron los más vendidos durante 2008 en esta tienda (la fuente fue un vendedor que revisó su registro de libros vendidos). Estos 4 libros continúan siendo autorizados por la Secretaría de Educación Pública (SEP) para ser utilizados en las escuelas secundarias del Sistema Educativo Nacional —modalidades escolar, no escolarizada, y mixta— (todas las secundarias de México).

Por ninguna razón en particular se eligió la librería “Casa del libro” ubicada en Ciudad Satélite; lo que interesa a esta investigación es tener 4 libros para analizar (como ejemplos), no saber cuáles son los más vendidos en todas las librerías del país. Esta investigación es sólo un ejercicio de análisis de concepciones alternativas de la evolución biológica, no propone el libro de texto específico que el profesor debe elegir. Los profesores pueden leer este trabajo y estudiar los resultados para después utilizarlos como ejemplos; así independientemente del libro que elijan de entre todos los que permite la SEP, tendrán la capacidad de reconocer algunas concepciones alternativas de la biología evolutiva.

Los 4 libros son:

- Aránzazu, C., Mota, E., Bonfil, C., y Garay, A. (2006). *Ciencias 1. Biología* (1ª ed). México: Santillana.
- Barahona, A. (2012). *Ciencias 1. Biología. Conectando entornos* (1ª ed.). México: SM
- Guillén, F. (2006). *Ciencias 1. Biología* (1ª ed.). México: Santillana.
- Limón, S., Mejía, J., y Aguilera, J. (2008). *1 Secundaria. Biología. Ciencias* (3ª ed.). México: Castillo.

Se analizó en los 4 libros el contenido sobre biología evolutiva. En el programa de estudios 2006 de primer año, el contenido está organizado así:

Bloque 1 “La biodiversidad: resultado de la evolución”

Contenido: “Importancia de las aportaciones de Darwin”:

- a) “Reconocimiento de algunas evidencias a partir de las cuales Darwin explicó la evolución de la vida”
- b) “Relación entre adaptación y la sobrevivencia diferencial de los seres vivos”.

El análisis consistió en identificar en los 4 libros (en la parte de biología evolutiva), elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.

Una vez que se identificaron los elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas, se explicaron las causas.

✓ **Antecedentes:**

Durante el desarrollo de esta tesis se utilizó como referencia el contenido de estos tres trabajos.

Una trabajo muy similar al de esta tesis es el de Gándara, M, Gil, M.J.; San Martí, P. [2002]. Del modelo científico de «adaptación biológica» al modelo de «adaptación biológica» en los libros de texto de enseñanza secundaria obligatoria. *Enseñanza de las ciencias*, 20(2), 303-314. Esta investigación es una caracterización del modelo de *adaptación biológica* contenido en los libros de texto de secundaria y como ésta se relaciona con las dificultades de la enseñanza y el aprendizaje de la evolución.

Sánchez, C [2000]⁹ y González, L [2011]¹⁰ elaboraron trabajos de doctorado en los que determinaron concepciones alternativas de la evolución biológica de alumnos de

⁹ Sánchez, C. [2000]. La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

¹⁰ González, L. [2011]. Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural. Tesis de doctorado. Universidad de Buenos Aires en el área de Ciencias Biológicas, Argentina.

secundaria. González también identificó obstáculos epistemológicos que subyacen estas concepciones.

Esta investigación consta de tres capítulos y conclusiones, el capítulo 1 es un marco teórico sobre biología evolutiva. Para poder identificar elementos textuales en los libros de texto de secundaria que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica, es indispensable tener —organizados, relacionados y jerarquizados con fines educativos— conocimientos científicos de biología evolutiva.

“(…) conocer las características que separan los saberes biológicos que se llevan al aula de los saberes que producen los científicos, tendría que servir para detectar posibles dificultades en su enseñanza. Así mismo permitiría relacionar las ideas espontáneas de los alumnos con los modelos de los saberes que se transponen¹¹” [Gándara, M, et al., 2002, p.303].

Este capítulo se organizó utilizando como base el libro de Stephen Jay Gould [2002] —“La estructura de la teoría de la evolución”—. Gould representa la teoría original de Darwin en «El coral de Scilla»: “En la base están los rasgos fundamentales, y conforme se extienden las ramas, su relevancia decrece y la teoría se especializa cada vez más”; es decir, “La teoría de la evolución actual corresponde a la metáfora del Duomo de Milán: Unos cimientos firmes —la teoría de la selección natural— sobre los que se erige una superestructura fascinantemente distinta —debido a que durante las tres últimas décadas del siglo XX se introdujeron críticas que funcionan como “elementos auxiliares o adiciones útiles que enriquecen, o alteran sustancialmente, la formulación darwiniana original, pero no afectan el núcleo de la selección natural”— [Gould, 2002, pp.37, 40].

¹¹ “La teoría de transposición didáctica [Chevallard, 1992] sostiene que, para que los saberes que producen los científicos puedan vivir en el aula, tienen que ser transformados, resultando éstos cualitativamente diferentes” [Gándara, M, et al., 2002, p.303].

Debido a la amplitud de la teoría de la evolución actual, este capítulo se estructuró con el desarrollo de cinco conceptos que, para la que suscribe, conforman la teoría de la selección natural (los cimientos de la teoría de la evolución según Gould):

⇒ Evolución biológica

⇒ Variación

⇒ Selección natural

⇒ Adaptación

⇒ Especiación

Se eligieron estos conceptos a partir de este razonamiento:

La «**evolución biológica**» es el porqué de la «**adaptación**» y la «**diversidad biológica**» (esta última entendida como las diferentes especies existentes). «El núcleo darwinista» explica la «**adaptación**» y la diversificación («**especiación**») como resultados del proceso predominante de la «**selección natural**» (cuyo fundamento es la «**variación**»).

El capítulo 2 de esta tesis es el marco teórico sobre concepciones alternativas. En este capítulo se desarrollan los conceptos: «obstáculos epistemológicos» y «concepciones alternativas». En la literatura suelen referirse únicamente a las concepciones alternativas y no a los obstáculos epistemológicos, sin embargo, los obstáculos epistemológicos están en el fondo de las concepciones alternativas [González, 2011].

Los obstáculos epistemológicos presentan “un carácter más general y transversal que las representaciones (concepciones alternativas) y son ellos los que las explican y las

estabilizan en los más profundo, constituyendo así una especie de «punto nodal¹²» de las concepciones [Astolfi, 1998, pp.157, 158].

Las concepciones alternativas parecen ligadas a cada contexto de conocimiento particular. Para cualquier campo del saber científico que se enseña existen concepciones particulares [Astolfi, 1998].

En este capítulo también se desarrolló el tema de obstáculos epistemológicos y concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica, el cual es el fundamento del siguiente capítulo.

En el capítulo 3 se describe el trabajo metodológico del estudio y se da respuesta a las cuestiones de investigación planteadas.

El análisis consistió en identificar en los 4 libros (en la parte de biología evolutiva), elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.

Como parte final de esta investigación se presentan las conclusiones. Aquí se puede apreciar lo interesante de este estudio, ya que además de enumerar las concepciones alternativas que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica, se presentan ciertos elementos textuales recurrentes que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva. Se dice que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva porque son elementos que no concuerdan con los conocimientos de esta disciplina, se puede decir que son elementos inadecuados. Estos elementos pudieron categorizarse por repetirse en todo los libros. En este sentido esta investigación es novedosa y muy útil dentro del campo de la enseñanza de la biología evolutiva.

¹² **Nodo:** “Cada uno de los puntos que permanecen fijos en un cuerpo vibrante. En una cuerda vibrante son siempre nodos los extremos, y puede haber varios nodos intermedios” [RAE].

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO. BIOLOGÍA EVOLUTIVA

Este capítulo es un marco teórico sobre biología evolutiva. Para poder identificar elementos textuales en los libros de texto de secundaria que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica, fue indispensable precisar, sistematizar y seleccionar conocimientos científicos de biología evolutiva. Este capítulo se organizó utilizando como base el libro de Stephen Jay Gould [2002] —“La estructura de la teoría de la evolución”—.

Debido a la amplitud de la biología evolutiva actual, este capítulo se estructuró con el desarrollo de cinco conceptos que eligió la que suscribe y que conforman la teoría de la selección natural que propone Gould (los cimientos de la teoría de la evolución): 1. EVOLUCIÓN BIOLÓGICA, 2. VARIACIÓN, 3. SELECCIÓN NATURAL, 4. ADAPTACIÓN, y 5. ESPECIACIÓN.

1.1 LA ESTRUCTURA DE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN

En el capítulo 1 de la obra *La estructura de la teoría de la evolución* [2002] —de Stephen Jay Gould— llamado *Definición y revisión de la estructura de la teoría de la evolución* se concluye que:

- “Los conceptos de la evolución predarwinianos (como la teoría de Lamarck) nunca acabaron de superar el estadio especulativo y no operacional, en gran medida porque estaban atrapados en la paradoja del contraste entre fuerza de progreso a escala cósmica incognoscible a todos los efectos, y una fuerza a pequeña escala, ortogonal, palpable y verificable, capaz de generar adaptación y diversidad a escala local, pero incapaz, en principio, de explicar la pauta macroevolutiva de la vida” [Gould, 2002 p.47].
- La tesis de Darwin —que es la antítesis de estas “construcciones estériles previas”— sostiene que la supuesta fuerza a gran escala no existe, y que toda

evolución puede “explicarse por extrapolación de la fuerza a pequeña escala, ahora concebida de manera apropiada como una selección natural” [*idem*].

- El darwinismo estricto se impuso a la trivialización de la selección natural hecha por los “saltacionistas” (vigentes desde finales del siglo XIX y hasta principios del XX) y “se reafirmó en la triunfante e inicialmente pluralista forma de la síntesis moderna, aunque luego se calcificó en una versión «endurecida»” [*idem*].
- Los compromisos esenciales del darwinismo (1. «agencia», 2. «eficacia», y 3. «alcance») “finalmente se demostraron demasiado restrictivos, lo que hizo necesaria una antítesis que extendiera y reformulara cada rama, y que ha conducido a una nueva síntesis aún más rica (—siempre sobre la base firme de una lógica darwiniana—) que expresa nuestra mejor comprensión actual de la teoría de la evolución”, (la cual continúa en desarrollo) [*idem*].
- Este último párrafo—él cual se amplía a continuación— es «la tesis» de la obra de Gould:

Gould cita un artículo de Falconer¹³:

“Más allá de todos sus contemporáneos, Darwin ha dado un impulso a la investigación filosófica de la más atrasada y oscura rama de las ciencias biológicas de su tiempo; ha puesto los cimientos de un gran edificio: pero no tiene por qué sorprenderse si, en el progreso de su construcción, la superestructura es alterada por sus sucesores, como en el *Duomo* de Milán, del románico a otro estilo arquitectónico” [Falconer, citado en, Gould, 2002, pp.25, 26]. (El subrayado es mío)

¹³ Hugh Falconer fue cirujano, paleontólogo, y cultivador de té indio. Perteneció al grupo de los amigos selectos de Darwin junto con Hooker, Huxley y Lyell. Por esto, cuando Falconer escribe un importante artículo sobre los “elefantes fósiles estadounidenses” en 1863, Darwin se acobarda por anticipado, pero luego se regocija con la favorable recepción de la idea de la evolución por la mayoría de sus críticos...” [Gould, 2002, p.25].

Mediante una carta, Darwin le responde a Falconer:

“Volviendo a su conclusión, lejos de sorprenderme, estoy absolutamente seguro de que gran parte del *Origen* irá a la papelera, pero espero y deseo que el armazón aguante” [Darwin, citado en, Gould, 2002, p.26, 27].

En “la metáfora del *Duomo* de Milán”:

- Falconer describe “los cimientos darwinistas” del edificio (que representa la teoría de la evolución) como un soporte invisible enterrado en el suelo cuya finalidad es prevenir el derrumbamiento de la estructura superior, la cual ha sido reconstruida con un estilo muy diferente [Gould, 2002, p.27].
- Por otro lado, Darwin describe “el armazón darwinista” del edificio de la teoría de la evolución como la forma básica de toda la estructura [*idem*].

Por un lado, “La versión (arquitectónica) de Darwin mantiene su estilo gótico sin cambios fundamentales más allá del equivalente visual de la afectación. Por otro lado, “La versión de Falconer conserva la base gótica como constricción y directriz positiva, aunque luego se ramifica en formas novedosas que se engranan con la base pero convierten la estructura creciente en una nueva entidad, definida mayormente por la trama de su historia” [Gould, 2002, p.29].

Por un lado, “Falconer espera que el principio evolutivo subyacente de la descendencia con modificación persista como fundamento de teorías venideras concebidas para explicar el árbol genealógico de la vida”. Por otro lado, “Darwin replica que la teoría de la selección natural persistirá como la explicación básica de la evolución, aunque muchos detalles, incluso algunos conceptos secundarios citados en el *Origen*, sean rechazados en el futuro como falsos o hasta ilógicos” [Gould, 2002, p.27].

La postura de Gould respecto a estas dos ideas y la cual es la premisa clave de su libro, es:

“Pienso, con Darwin, que el armazón darwiniano, y no sólo los cimientos, persisten en la estructura emergente de una teoría de la evolución más adecuada¹⁴. Pero también sostengo, con Falconer, que los cambios sustanciales introducidos en la segunda mitad del XX han creado una estructura tan expandida en torno al núcleo darwiniano original, y tan engrandecida por nuevos principios explicativos a nivel macroevolutivo, que la exposición completa, aun sin salirse del dominio de la lógica darwiniana, debe interpretarse como básicamente distinta de la teoría canónica¹⁵ de la selección, y no como una simple extensión de la misma” [Gould, 2002, p.27].

Es decir, para Gould, una teoría de la evolución adecuada, mantiene el núcleo darwiniano original, pero lo expande, adiciona, y redefine con los importantes aportes de la segunda mitad del siglo XX [*idem*].

Según Gould, el núcleo darwiniano está integrado por tres principios básicos:

“Los tres principios que elevaron la selección natural al rango de explicación radical del mecanismo de la historia de la vida pueden ejemplificarse perfectamente mediante las categorías generales de agencia, eficacia y alcance” [Gould, 2002, pp.27-38].

⇒ **Agencia**¹⁶:

El mecanismo de la selección natural es “el agente” o “locus causal” de la evolución biológica. Sucede en el nivel de «individuo» y se mide como el éxito reproductivo diferencial de los mismos [Gould, 2002, pp.38, 44].

¹⁴ Una teoría de la evolución adecuada o congruente con la biología del siglo XXI.

¹⁵ **Canónico**: relativo a lo sagrado [RAE].

¹⁶ **Agency**: “The faculty of acting or of exerting power; the state of being in action; action; instrumentality”. oficio de agente. *Agent*. “An active power or cause; that which has the power to produce an effect; as, a physical, chemical, or medicinal agent; as, heat is a powerful agent” [<http://en.wiktionary.org>].

⇒ **Eficacia**¹⁷:

Según Gould, “Cualquier biólogo razonablemente honesto e inteligente podría entender que Darwin había identificado una vera causa (una causa verdadera) en la selección natural”, la cual es “una fuerza positiva (“eficaz”) generadora de novedades evolutivas (...) mediante la lenta acumulación de los efectos positivos de las variaciones favorables a lo largo de innumerables generaciones” [Gould, 2002, p.38].

⇒ **Alcance**:

Darwin explicó la adaptación como el resultado de la selección natural (microevolución), e insistió en que este “mecanismo microevolutivo, ampliado a la inmensidad del tiempo geológico, sería capaz de generar todo el espectáculo de la historia de la vida, tanto su diversidad taxonómica como complejidad anatómica, y que no se requería ningún principio causal suplementario” [Gould, 2002, p.39].

En su obra (*La estructura de la teoría de la evolución*) Gould utiliza el modelo y los rasgos orgánicos de «**el coral de Scilla**»¹⁸ para representar, por medio de escisiones y rebrotes, la estructura de la teoría de la evolución [Gould, 2002, p.40]. (Vease Figura 1).

¹⁷ **Eficacia**: “Capacidad para producir un efecto o resultado deseado” [<http://diccionario.sensagent.com>].

¹⁸ «El coral de Scilla» es la ilustración del fósil de un “*Coralium articulatum quod copiosissimum in rupibus et collibus Messanae reperitur*” (“Coral articulado presente en gran abundancia en los acantilados y colinas de Messina”) elaborada por el artista y paleontólogo del siglo XVII Agostino Scilla [Gould, 2002, p.40].

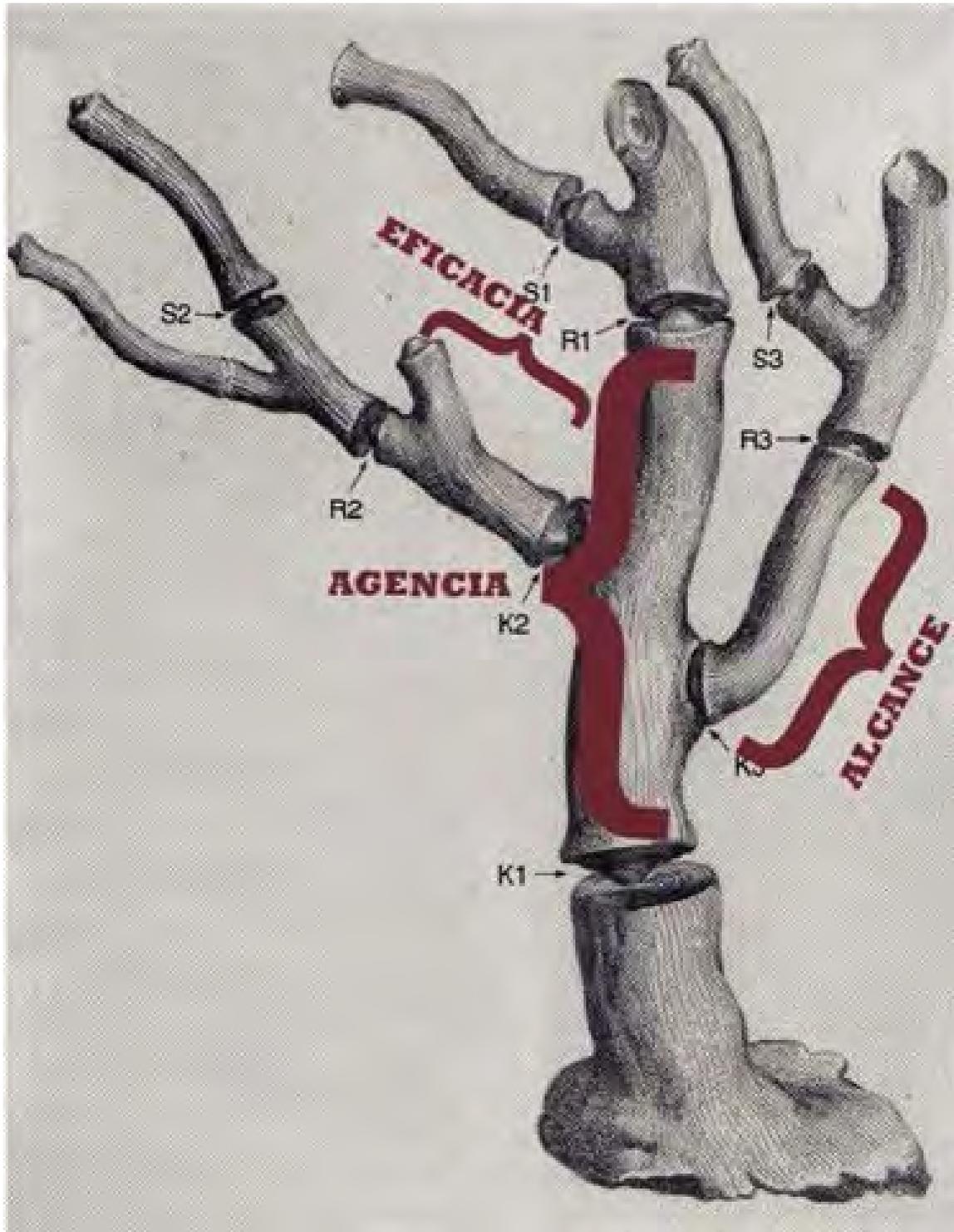


Figura 1. «El coral de Scilla».

Gould ubica en el coral la teoría original de Darwin: En la base están los rasgos fundamentales, y conforme se extienden las ramas, su relevancia decrece y la teoría se especializa cada vez más [Gould, 2002, p.40]:

El tronco central del coral (se supone vivo) representa la teoría de la selección natural. Este no puede seccionarse ya que de lo contrario el coral (la teoría de la evolución) moriría. “Las raíces, si se quiere, representan fuentes de evidencia; cualquiera de ellas puede escindirse si se demuestra incorrecta, siempre que el resto mantenga la estructura bien anclada” [*idem*].

El tronco central se extiende en tres ramas principales que integran completo el núcleo de la teoría de Darwin. Estas ramas —agencia, eficacia, y alcance— son tan indispensables que la hipotética escisión de cualquiera de ellas (cortes “K” [killers]) derrumbaría la teoría entera (y una estructura o teoría nueva tendría que ser rebautizada) [Gould, 2002, p.40-42].

Más arriba de los supuestos cortes “K”, existen otras escisiones (que recortan aspectos más especializados de la teoría de Darwin) y rebrotes, que aunque “preservan la naturaleza esencial de una estructura intelectual, surgen con dos niveles de cambio y revisión bien diferenciados (...)” [Gould, 2002, p.42, 43]:

Los cortes intermedios “R” (“revisores”) y sus rebrotes representan la modificación de la teoría darwiniana a la manera de Falconer; es decir, significan una alteración estructural importante (por expansión, revisión, y reconstrucción) sobre un fundamento preservado (el núcleo darwiniano) [Gould, 2002, p.40].

“(…) Los cortes R (que dejan la base de cada rama principal intacta, pero demandan una regeneración sustancial y el reinjerto de una estructura ampliada sobre el fundamento remanente) se han consumado de manera triunfal y muy positiva en las tres ramas de la lógica darwiniana, configurando la estructura de la teoría de la evolución elaborada en el último tercio del siglo XX” (elaborada tras la calcificación de la estructura original (recurriendo a la metáfora del coral) y el endurecimiento de la

Síntesis Moderna¹⁹ que culmina en la celebración del centenario del Origen en 1959) [Gould, 2002, p.44].

En la primera rama del coral (agencia), el corte R1 representa la ampliación del proceso de selección natural: De una selección a nivel de «organismo» a “un modelo jerárquico de selección a varios niveles legítimos de individualidad darwiniana: genes, linajes celulares, organismos, demes, especies y clados” [*idem*].

En la rama de la eficacia, el corte R2 “respeta el argumento de la creatividad de la selección natural (dejando la base de la rama intacta) pero introduce un peso significativo de pensamiento formalista (a través de la apreciación renovada de la enorme importancia de las constricciones estructurales, históricas y ontogénicas para la canalización de las trayectorias evolutivas, a menudo de maneras muy positivas). El funcionalismo puro del enfoque estrictamente darwiniano —y externalista— de la adaptación no basta ya para explicar la canalización de las vías filéticas y el poblamiento no homogéneo y arracimado del morfoespacio orgánico” [Gould, 2002, p.45].

En la rama del alcance, el corte R3 “respeta la pretensión darwiniana de que los modos y principios microevolutivos pueden generar patrones grandiosos por acumulación a escala geológica, pero rechaza que una extrapolación de esta índole pueda dar cuenta sin más de toda la panoplia (la totalidad) de fenómenos en la historia de la vida, y añade modos propiamente macroevolutivos para la expresión distintiva de estos procesos a escalas de tiempo mayores” (*el equilibrio puntuado*) [Gould, 2002, p.45].

¹⁹ La teoría sintética de la evolución, nombrada así por Julian Huxley, es la «síntesis» (esto es, la reunión de elementos previamente dispares en torno a un núcleo central) de la teoría de Darwin (excepto la noción de *herencia de los caracteres adquiridos*), la genética mendeliana, la sistemática, y la paleontología [Futuyma, 1998, pp.24-30; Gould, 2002, pp.532, 533; Ruiz y Ayala, 2002, pp.125-127; Jiménez, 2007, pp.27-28]: “Dobzhansky, Mayr y Simpson, con otros evolucionistas, organizaron en enero de 1947 el célebre congreso de Princeton, donde se logró un acuerdo general entre los planteamientos de las diferentes disciplinas biológicas. Surgió así la teoría sintética como una corriente de pensamiento que establecía amplio acuerdo con Darwin, con excepción de la noción de herencia de caracteres adquiridos. Para 1950, la aceptación de la teoría de Darwin de la evolución por selección natural fue universal entre los biólogos, y la teoría sintética fue ampliamente aceptada” [Ruiz y Ayala, 2002, pp.126]. “A medida que el darwinismo estricto de la Síntesis Moderna se impuso y se «endureció», proceso que culminó en el exceso de confianza de las celebraciones del centenario del *Origen* en 1959, una nueva ola de descubrimientos y reformulaciones teóricas volvió a cuestionar ciertos aspectos de los tres principios centrales (del darwinismo) (lo que nos lleva a otro fascinante asalto en el desarrollo de la teoría evolutiva básica, que abarca las tres últimas décadas del siglo XX y aún no ha terminado)” [Gould, 2002, pp.36, 37].

Los cortes superiores “S” (“subsidiarios”) afectan a las subramas de las ramas principales y los rebrotes reformulan la teoría general de forma “interesante”, pero dejando intacta la estructura explicativa básica (núcleo darwiniano + rebrotes en “R”) [Gould, 2002, p.43].

La conclusión del capítulo uno del libro *Definición y revisión de la estructura de la teoría de la evolución* de *La estructura de la teoría de la evolución* escrito por Gould es: La teoría de la evolución actual corresponde a la metáfora del *Duomo* de Milán: Unos cimientos firmes —la teoría de la selección natural— sobre los que se erige una superestructura fascinantemente distinta —debido a que durante las tres últimas décadas del siglo XX se introdujeron críticas que funcionan como “elementos auxiliares o adiciones útiles que enriquecen, o alteran sustancialmente, la formulación darwiniana original, pero no afectan el núcleo de la selección natural”— [Gould, 2002, pp.37]), es decir, la teoría de la evolución actual expande, reformula, y “vigoriza la selección natural mediante la consideración de otras causas no contrarias a ella (como mucho «ortogonales»²⁰) que ya no pueden considerarse equivocadas o desdeñarse como triviales” [Gould, 2002, p.47]:

“La larga argumentación de este libro (—*La estructura de la teoría de la evolución*—) sostiene que este debate reciente (de las tres últimas décadas del siglo XX) ha cuajado en una nueva síntesis (todavía en marcha) que proporciona una comprensión mejor, renovada y más rica, de la estructura de la teoría de la evolución, sobre la base, eso sí, de una lógica darwiniana que se mantiene firme” [Gould, 2002, pp.47, 48].

El marco teórico disciplinar de la presente tesis de biología consiste en el desarrollo, a grandes rasgos, de la teoría de la evolución según Stephen Jay Gould en *La estructura de la teoría de la evolución*. Dicho contenido está organizado en:

- **5 conceptos que están directamente asociados a las bases de las tres ramas principales del coral de Gould: agencia, eficacia, y alcance:**

²⁰ Del griego *orthos* (recto) y *gonía* (ángulo). En matemáticas, el término ortogonalidad es una generalización de la noción geométrica de perpendicularidad [http://www.babylon.com/definition/orthogonal/Spanish].

⇒ Evolución biológica

⇒ Variación

⇒ Selección natural

⇒ Adaptación

⇒ Especiación

La «**evolución biológica**» es el porqué de la «**adaptación**» y la «**diversidad biológica**» (esta última entendida como las diferentes especies existentes). «El núcleo darwinista» explica la «**adaptación**» y la diversificación («**especiación**») como resultados del proceso predominante de la «**selección natural**» (cuyo fundamento es la «**variación**»).

1.2 EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

Este subcapítulo trata de la “EVOLUCIÓN BIOLÓGICA”, el primero de los cinco conceptos que eligió la que suscribe y que conforman la teoría de la selección natural (los cimientos de la teoría de la evolución según Gould).

La evolución biológica como un «hecho científico»:

Para la comunidad científica, «un hecho» es un evento o proceso natural que está suficientemente probado y sucede más allá de toda duda razonable. La evolución biológica es un «hecho científico» porque cientos de miles de evidencias sobre paleontología, biogeografía, anatomía comparada, embriología, genética, bioquímica, y biología molecular así lo demuestran [Futuyma, 1998, p.11; Jiménez, 2007, pp.4, 5].

- Para Darwin el “origen de las especies” fue lo que —en nuestro tiempo— llamamos evolución. “La evolución orgánica comienza con la diferenciación dentro de una especie y continúa más allá del nivel de especie para formar géneros, familias y otras categorías superiores” [Dobzhansky, 1993, p.9].
- La evolución biológica es el cambio que lleva a la formación de nuevas especies [Desplegable *El año de la evolución*, 2009].
- Según Futuyma [1998], la evolución biológica es, en un sentido amplio, descendencia con modificación, y a menudo con diversificación [Futuyma, 1998, p.4].
- Según Ridley, la evolución significa cambio —cambio en la forma y en la conducta de los organismos entre generaciones. Las formas de los organismos, a todos los niveles —desde las secuencias de ADN hasta la macroscópica morfología y la conducta social—, pueden ser modificadas de aquellas de sus ancestros durante la evolución [Ridley, 1996, p.3].

- Según Futyma [1998], la evolución biológica es el cambio, en el transcurso de generaciones, de las propiedades de las poblaciones de organismos o grupos de poblaciones. Por lo tanto, consiste en descendencia con modificación, y a menudo incluye diversificación a partir de «ancestros comunes» [Futuyma, 1998, p.15].
- Según Ridley [1996], “cuando los miembros de una población se reproducen y crían a la siguiente generación, se produce un linaje de poblaciones. Un linaje está compuesto de series de poblaciones a través del tiempo. Cada población es ancestral para la población descendiente que conforma la siguiente generación: un linaje es una serie de poblaciones “ancestro-descendiente”. La evolución, entonces, consiste en el cambio entre generaciones dentro de un linaje. Darwin definió la evolución como “descendencia con modificación”, en donde la palabra “descendiente” se refiere al modo en que la modificación evolutiva se lleva a cabo: en series de poblaciones descendientes unas de otras” [Ridley, 1996, p.4].
- Según Ridley [1996], la modificación evolutiva en los seres vivos posee propiedades distintivas. Depende de los cambios en el ambiente externo y de la azarosa innovación genética; Por lo tanto, en cualquier momento, la forma de un cambio futuro es impredecible, excepto condicionalmente. Más aún, la evolución de la vida ha procedido en un patrón enramado, como un árbol. Las modernas variedades de especies se han generado a través de una repetida división de linajes que inició con el ancestro común de todo lo vivo [*idem*].
- Según Dobzhansky [1993], “La evolución orgánica constituye una serie de transformaciones parciales o completas e irreversibles en la composición genética de las poblaciones, basadas principalmente en interacciones alteradas con el ambiente. Consiste principalmente en radiaciones adaptativas a nuevos ambientes, ajustes a cambios ambientales que se producen en un hábitat determinado y el origen de nuevas formas de explotar hábitats ya existentes. Estos cambios adaptativos dan lugar ocasionalmente a una mayor complejidad

en el patrón de desarrollo, de las reacciones fisiológicas y de las interacciones entre las poblaciones y su ambiente” [Dobzhansky, 1993, p.10].

- Según Mayr [2001], casi todo en el universo “inanimado” está evolucionando, esto es, está cambiando en una secuencia direccional distintiva. ¿Pero qué es lo que evoluciona en el mundo viviente? Las especies seguro evolucionan, y también lo hacen todas las combinaciones de especies en la jerarquía Linneana —géneros, familias, ordenes, y todos los taxones superiores a la totalidad del mundo viviente. ¿Pero qué pasa con los niveles inferiores? ¿Los individuos evolucionan? Indudablemente no, en ningún sentido genético. Nuestro fenotipo cambia en el curso de nuestra vida, pero nuestro genotipo permanece esencialmente igual desde el nacimiento hasta la muerte (Este postulado de la teoría sintética ha sido aceptado, con pequeñas modificaciones hasta ahora)²¹.

²¹ Según Hernández [2011], a lo largo de su vida, un organismo puede tener cambios genéticos por «transferencia horizontal» y «elementos transponibles» [Hernández, 2011, pp.82, 83].

- La **transferencia horizontal** “es la transmisión recíproca o no recíproca de información genética entre dos individuos con cualquier grado de parentesco evolutivo” “sin que intermedie la producción de una nueva generación. (...) La transferencia horizontal, evidentemente, no es una manera de generar nueva variación genética; toda la información no es más que intercambiada. Sin embargo, su importancia se asemeja a la de la recombinación: es una fuente de variación a un nivel más arriba de la génica porque, implica cambios en la información genómica misma. Los genes transferidos no son entidades que nunca antes hayan existido (como sí lo son las variaciones generadas por las mutaciones), pero en el momento de relacionarse con todo un nuevo conjunto de genes, se convierten en un motor generador de variación genómica (por crear combinaciones distintas de genes) y fenotípica (por su posibilidad de generar grandes modificaciones en el fenotipo). [Hernández, 2011, pp.69 y 75]. (...) para muchos ya no es posible descartar automáticamente la presencia de este fenómeno en todos los reinos de los seres vivos ni la consideración del mismo como una fuente evolutiva relevante (Syvanen, 1994; Gogarten, y Townsed, 2005; Keeling y Palmer, 2008, citado en, Hernández, 2011, p.70).
- Los **elementos transponibles** o **transposones** son secuencias de ADN cuyas copias se insertan en varios sitios del genoma [Futuyma, 2009, *Glossary*; Mayr, 2001, p.97]. El rasgo central y más relevante para la generación de variación es que, a través de su capacidad de movimiento, promueven una gran cantidad de nueva información genética o rearrreglos de la existente. (...) Los transposones “son en sí mismos una causa intrínseca de variación génica o genómica y, al mismo tiempo, son factores importantes en otros fenómenos que generan variación. Por esta razón, resulta evidente que su grado de actividad en cada especie debe de tener consecuencias en su variabilidad, es decir, en la propensión a variar de la especie” [Hernández, 2011, pp.76, 81].

Una visión reciente que postula que un organismo sufre alteraciones genéticas a lo largo de su vida es la «**epigenética**».

Entonces, ¿cuál es el más bajo nivel de organización viviente que evoluciona? Es la población. Y la población resulta ser la sede más importante de la evolución. La evolución es mejor entendida como la transformación genética de los individuos de todas las poblaciones de generación en generación [Mayr, 2001, p.76].

Microevolución	Macroevolución
Es el cambio evolutivo por debajo del nivel de especie⇒ «adaptación»	Patrón evolutivo en y arriba del nivel de especie⇒ «especiación» y «diversificación». El registro fósil es la prueba principal de la macroevolución.

[Hall y Hallgrímsson, 2008, *Glossary*]

Jablonka y Lamb, que plantearon la epigenética, defienden cuatro postulados que contradicen la ortodoxia de la biología actual: 1) La herencia no sólo se basa en genes. 2) Algunas variaciones heredables no son aleatorias en cuanto a su origen. 3) Cierta información adquirida es heredada. 4) El cambio evolutivo puede resultar de la instrucción además de la selección [Moreno, 2008, p.276]. La epigenética trata de aquellos aspectos del desarrollo que conducen a la flexibilidad y el ajuste cuando el ambiente o el genoma cambian. La epigenética explora las interacciones entre genes, sus productos, y el ambiente, y refleja los procesos que desacoplan la variación fenotípica y genética [Jablonka y Lamb, 2008, p.243].

Epigenética: “Rasgos fenotípicos que afectan directamente al ADN y que se transmiten entre células del mismo linaje, pero que no se transmiten normalmente entre generaciones y están inducidos por los genes. Genética: “Variación en genes que es heredable entre generaciones y determina el desarrollo del fenotipo, parte de la cual determina la variación epigenética entre distintos linajes de células” [Moreno, 2008, p.279].

“Jablonka y Lamb se consideran a sí mismas darwinistas en cuanto a que dan primacía total a la selección natural como mecanismo evolutivo. Todos los tipos de variación inducida por el ambiente que proponen han de pasar por el filtro de la selección natural para perdurar evolutivamente. Incluso en su origen, todos los procesos celulares que permiten la herencia de ciertos caracteres adquiridos, han sido moldeados por la selección natural según su versión expandida del darwinismo. Su oposición no es al papel de la selección natural, sino el modelo evolutivo de la Síntesis, con mutaciones aleatorias en los genes como única fuente de información heredable [Moreno, 2008, pp.275, 276].

¿Qué es una población?:

- Según Futuyma [2009], una población es un grupo de organismos de la misma especie que ocupan una región geográfica más o menos bien definida y que exhiben una continuidad reproductiva de generación en generación; las interacciones ecológicas y reproductivas son más frecuentes entre estos individuos que con los miembros de otras poblaciones de la misma especie [Futuyma, 2009, *Glossary*].
- Según Mayr [2001], una población local o *demo* es una comunidad de individuos de la misma especie —en una localidad dada— con posibilidad de entrecruzarse [Mayr, 2001, p.77].
- Según Ridley [1996], una población es un grupo de organismos, usualmente un grupo de organismos sexuales que se entrecruzan y comparten un acervo génico [Ridley, 1996, *Glossary*].
- Según Hall y Hallgrimsson [2008], una población mendeliana es un grupo de individuos diploides que se entrecruzan intercambiando genes mediante la reproducción sexual [Hall y Hallgrimsson, 2008, *Glossary*].

Relación entre individuo y población

Individuo-Población- Ambiente	Individuo	Población
<p>“La forma como las poblaciones de organismos han reaccionado y están reaccionando frente a los cambios ambientales depende de”:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) “las características genéticas de los individuos” y 2) “del tipo y de la magnitud de la variabilidad genética de la «población»” 	<p>Las características más importantes de los individuos son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) La “continuidad de la herencia que depende de la autorreplicación del DNA cromosómico”. 2) La “capacidad de cambio por mutación”. 3) La “integración armónica del fenotipo”. 	<p>Las características más importantes de la población son:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) La “capacidad ilimitada de crecimiento, lo que exige la destrucción de los individuos a fin de que el tamaño de la población se mantenga constante”. 2) La “gran reserva de variabilidad genética”. 3) Las “limitaciones de dicha variabilidad en cualquier población”. Esta característica “es la que determina si una población al responder a un cambio ambiental determinado se adaptará a ese ambiente nuevo o bien se extinguirá”.

[Dobzhansky, 1993, p.5]

Relación entre individuo y población

Evolución	Individuo	Población
<p>“Los cambios evolutivos tienen lugar en las poblaciones y no en los individuos”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • “El individuo nace, crece y con el tiempo muere” • La constitución genética del individuo permanece constante a lo largo de su vida. • El individuo lleva consigo una pequeña porción del acervo genético²² de una población en un corto tiempo. • “Desde el punto de vista evolutivo, el individuo es efímero. 	<ul style="list-style-type: none"> • La población, en un momento, es la manifestación visible de un «acervo genético» completo. • La constitución genética de una población cambia de una generación a otra mediante la mutación²³, el flujo génico²⁴, la deriva génica²⁵, y la selección natural. • Las “poblaciones persisten a lo largo del tiempo” (debido a la herencia).

[Dobzhansky, 1993, p.31]

²² **Acervo génico (*gene pool*):** Son todos los genes (alelos) de los gametos de todos los individuos de una población sexualmente reproductiva [Hall y Hallgrimsson, 2008, *Glossary*].

²³ **Mutación:** Es un cambio en la estructura de un gen y a menudo en su función; Es un cambio en la secuencia de nucleótidos del material genético ya sea por sustitución, duplicación, inserción, supresión, o inversión [Hall y Hallgrimsson, 2008, *Glossary*].

²⁴ **Flujo génico:** Es la migración de genes hacia una población desde otras poblaciones por entrecruzamiento [Hall y Hallgrimsson, 2008, *Glossary*].

²⁵ **Deriva génica:** Es el cambio aleatorio de las frecuencias génicas (alélicas) en una población. Este puede ser causado por errores de muestreo de gran magnitud en poblaciones pequeñas o por cuellos de botella (efecto fundador), es decir, cuando el tamaño de la población es reducido súbitamente a muy pocos individuos. Conforme el tamaño de la población crece, la deriva génica se vuelve menos significativa y la selección natural más significativa en el cambio de las frecuencias génicas. [Hall y Hallgrimsson, 2008, *Glossary*].

¿Qué es una especie?:

Muchas definiciones de especie se han propuesto. El concepto biológico de especie (o las variantes de este) es el más usado por los biólogos evolutivos.

El concepto biológico de especie define a la especie de acuerdo a su discontinuidad reproductiva y se basa en las diferencias entre poblaciones, no en las diferencias fenotípicas (aunque, de hecho, las diferencias fenotípicas pueden ser indicadores de discontinuidad reproductiva).

Una especie biológica es una población o grupo de poblaciones dentro de las cuales los genes son real o potencialmente intercambiados por entrecruzamiento, y las cuales están reproductivamente aisladas de otros grupos.

[Futuyma, 2009, p.467; *Glossary*]

La evolución biológica como una «teoría científica»:

«Las causas» de la evolución biológica se explican mediante «una teoría», la cual, según Futuyma [1998], es un cuerpo maduro y coherente de declaraciones interconectadas que, basadas en el razonamiento y la evidencia, explican una variedad de observaciones [Futuyma, 1998, pp.11, 12]. «La teoría de la evolución» explica «la evolución biológica».

Según la teoría de la evolución:

Podemos definir la evolución como un proceso continuo en el que la mutación azarosa²⁶ —en relación al ambiente— introduce genes (alelos) cuyas frecuencias cambian a través del tiempo, con la selección natural considerada generalmente como la más importante, aunque no la única, causa de este cambio; entre otros factores causales se encuentran la migración y la deriva génica” [Hall y Hallgrímsson, p.544, 2008].

²⁶ “Si entendemos el azar como desconexión causal, es necesario precisar que lo azaroso no es el surgimiento de la variación, en tanto hay agentes mutagénicos y muchas causas más que desconocemos, lo que es azaroso es que una variación resulte adaptativa” [Hernández et al., 2009, p.110].

La teoría de la selección natural propuesta por Darwin y Wallace se convirtió en la piedra angular de la interpretación moderna de la evolución. Esta teoría está basada en cinco observaciones (hechos) y tres inferencias.

Modelo darwiniano que explica la selección natural

<p>HECHO 1. Todas las poblaciones tienen tan alta fertilidad que su tamaño se incrementaría exponencialmente si no fueran restringidas. (Fuente: Paley y Malthus)</p>	
<p>HECHO 2. El tamaño de las poblaciones, a excepción de las fluctuaciones anuales temporales, se mantiene constante a través del tiempo (estabilidad en estado-estacionario observada (<i>“observed steady-state stability”</i>)). (Fuente: observación universal)</p>	
<p>HECHO 3. Los recursos disponibles para cada especie son limitados. (Fuente: observación, reforzada por Malthus)</p>	<p>INFERENCIA 1: Hay una intensa competencia (lucha por la existencia) entre los miembros de las especies. (Fuente: Malthus)</p>
<p>HECHO 4. No hay dos individuos idénticos en una población (pensamiento poblacional). (Fuente: Criadores de animales y taxonomistas)</p>	<p>INFERENCIA 2: Los individuos de una población tienen diferentes probabilidades de supervivencia (en otras palabras, selección natural). (Fuente: Darwin)</p>
<p>HECHO 5. Muchas de las diferencias entre los individuos de una población son, al menos en parte, heredables (Fuente: Criadores de animales)</p>	<p>INFERENCIA 3. La selección natural, continua durante muchas generaciones, resulta en evolución (Fuente: Darwin)</p>

[Mayr, 2001, p.116]

¿Qué es la genética de poblaciones?:

“Hay muchas formas de definir la genética de poblaciones. En general, la genética de poblaciones es el estudio de la aplicación de las leyes de Mendel y otros principios genéticos a poblaciones completas de organismos en vez de aplicarlas solamente a individuos. La genética de poblaciones es también el estudio de los cambios en las frecuencias génicas y, como tal, se relaciona estrechamente con la genética evolutiva (...)” [<http://biologiamyblog.files.wordpress.com>]

Evolución según la genética de poblaciones:

“La evolución consiste en cambios en la constitución de los acervos génicos; es decir, en cambios en las frecuencias génicas (alélicas) (por selección natural, flujo génico, y deriva génica) así como en cambios en las asociaciones existentes entre alelos (...) (por recombinación genética). También puede darse evolución mediante cambios en la cantidad y la organización del material genético” [Dobzhansky, 1993, p.32].

1.3 VARIACIÓN

Este subcapítulo trata de la “VARIACIÓN”, uno de los cinco conceptos que, según la autora de esta tesis, conforman la teoría de la selección natural (los cimientos de la teoría de la evolución según Gould):

- Variación es un término comúnmente usado para indicar las diferencias de los valores cualitativos y cuantitativos de un carácter de entre los individuos miembros de una población, ya sea moléculas, células u organismos [Hall and Hallgrimsson, 2008, *Glossary*].
- "La disponibilidad de la variación es la condición indispensable de la evolución, y por lo tanto una parte muy importante del estudio de la evolución" [Mayr, 2001, p.88].
- Darwin propuso, y la biología evolutiva moderna afirma que la evolución se basa en la variación de las características de los organismos: las diferencias entre los individuos dentro de las poblaciones [Futuyma, 1998, pp.231].
- “Para que se dé el proceso de evolución se requiere que estén presentes dos condiciones fundamentales en los organismos de una población: que exista variación y que sea hereditaria” [Jiménez, 2007, p.32].
- "La evolución no puede ocurrir a menos que exista una variación genética" [Futuyma, 1998, p.267].
- (...) no existen dos individuos iguales. Incluso lo gemelos que pueden ser genéticamente idénticos muestran diferencias fenotípicas, producto de la acción del ambiente” [Jiménez, 2007, p.32].
- La evolución biológica es un proceso en dos pasos:
 1. El surgimiento de variación entre los individuos.

2. El cambio en las proporciones de las variantes de los individuos de una generación a otra.

[Futuyma, 1998, p.231]

Variación fenotípica	Variabilidad
<p>El término variación fenotípica se refiere a las diferencias que existen entre los valores cualitativos y cuantitativos de los fenotipos de los individuos de una población [Hall y Hallgrimsson, 2008, p.197]</p> <p>Fenotipo: Son las propiedades morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y conductuales de un organismo que se manifiestan a lo largo de su vida [Futuyma, 2009, <i>Glossary</i>].</p> <p>La variación es una propiedad de las poblaciones, no de los individuos. Las poblaciones son las que contienen reservorios de variación individual disponibles para selección natural [Hall y Hallgrimsson, 2008, p.197].</p> <p>Población local o «demo»: Es un grupo de individuos de la misma especie que ocupa al mismo tiempo una región geográfica [Dobzhansky, 1993, p.3, Futuyma, 1998, pp.450, <i>Glossary</i>; Hall y Hallgrimsson, 2008, pp.713, 727].</p>	<p>La variabilidad es la tendencia o predisposición de los genotipos o fenotipos a variar [Hall y Hallgrimsson, 2008, p.197].</p>

Las fuentes de la variación fenotípica son:

Variación fenotípica = Variación genética + Variación ambiental + Efectos maternos

(factores ambientales)

[Futuyma, 1998, p.233]

Variación genética	Variación ambiental	Efectos maternos
<p>El término variación genética se refiere a las diferencias que existen entre las secuencias de ADN de los individuos de una población.</p> <p>La variación genética es heredable, y por tanto, es el material de la evolución.</p> <p>[Futuyma, 1998, p.233]</p>	<p>Es la variación fenotípica que depende del ambiente en donde se desarrollan los organismos.</p> <p>Ej. Cuando la temperatura determina el sexo de las tortugas en una etapa crítica de su desarrollo, o cuando la nutrición, la disponibilidad de hábitats, y el hacinamiento afectan el desarrollo de las alas de los insectos. Estos son ejemplos de efectos ambientales permanentes.</p> <p>Algunos efectos ambientales son temporales, como la aclimatación fisiológica, la inducción enzimática, y la expresión de ciertas conductas aprendidas.</p> <p>[Futuyma, 2009, p.217]</p>	<p>Es la variación de la descendencia que no fue heredada genéticamente de la madre, sino que dependió de las condiciones ambientales que ella le proporcionó.</p> <p>Ej. La composición y cantidad de la yema del huevo, la cantidad y el tipo de cuidados maternos, las condiciones fisiológicas maternas, etc.</p> <p>Se han reportado variaciones congénitas por “efectos paternos” en algunas especies.</p> <p>[Futuyma, 1998, p.233]</p>

Las diferencias congénitas son aquellas que se desarrollan antes del nacimiento o la eclosión y no tienen origen genético [Futuyma, 2009, p.217].

Tipos de caracteres fenotípicos y sus bases genéticas

Caracteres cualitativos (Variación cualitativa)	Caracteres cuantitativos (Variación cuantitativa)
<p>Son caracteres fenotípicos con valores discretos; es decir, se miden por su presencia o ausencia.</p> <p>Ej. Las bandas en la concha de los caracoles, el color de ojos de los humanos, o las características que Mendel describió en los chícharos (rugosos o lisos; amarillos o verdes; tallos largos o cortos).</p> <p>[Jiménez, 2007, p.36]</p>	<p>Son caracteres fenotípicos con un número muy elevado de valores continuos.</p> <p>Ej. Caracteres métricos: La masa corporal, la estatura, ó la longitud.</p> <p>Ej. Caracteres merísticos: El número de huevos que pone un ave o el número de frutos o semillas de una planta</p> <p>Ej. Caracteres umbral: Son caracteres que pueden estar presentes o ausentes (discretos), pero hay variación continua entre los individuos, por ejemplo, respecto a la propensión a la enfermedad (más propensos- menos propensos).</p> <p>[Futuyma, 2009, p.236; Jiménez, 2007, p.36]</p>
<p>Un «polimorfismo» (variación cualitativa) es la existencia de dos o más variantes de un carácter cualitativo en una población.</p> <p>La base genética de un polimorfismo es el</p>	<p>Los caracteres cuantitativos tienen un origen «poligenético»; Es decir, son caracteres que se expresan cada uno, a partir de la acción conjunta de varios genes (alelos) del cromosoma. A los loci²⁸ de un grupo de</p>

Caracteres cualitativos (Variación cualitativa)	Caracteres cuantitativos (Variación cuantitativa)
<p>«polimorfismo genético», que es la presencia de dos o más alelos en un locus (“locus²⁷ polimórfico”) en una población (independientemente de su efecto fenotípico).</p> <p>Un locus que no es polimórfico es un locus monomórfico.</p> <p>[Futuyma, 2009, p.227; 1998, p.239]</p>	<p>poligenes se les llama “<i>loci de un caracter cuantitativo</i> (QTL)” [Futuyma, 2009, <i>Glossary</i>; Hall y Hallgrimson, 2008, p. 216, 217].</p> <p>«Poligen»: Un gen que interactúa con otros genes para producir un aspecto cualitativo del fenotipo [Hall y Hallgrimson, 2008, <i>Glossary</i>].</p> <p>La genética cuantitativa, mediante medidas estadísticas, estudia la variación cuantitativa.</p>

La variación fenotípica cualitativa (cuya base genética son los polimorfismos genéticos) es mucho menos común que la variación fenotípica cuantitativa (cuya base genética son los poligenes) [Futuyma, 2009, p.236].

Desde una mirada evolutiva, es claro que las pequeñas diferencias cuantitativas entre los individuos de una población, se van acumulando a través de la selección natural dando lugar a grandes diferencias cualitativas [Hall y Hallgrimson, 2008, p.216].

Variación fenotípica originada por factores genéticos y ambientales:

El caso de los escarabajos *Onthophagus*

Existen caracteres fenotípicos cuya variación depende tanto de factores genéticos, como ambientales. Este es el caso de la longitud de los cuernos de los escarabajos del género *Onthophagus*.

²⁸ **Locus:** Un sitio en un cromosoma ocupado por un gen específico, de manera más flexible, el gen mismo, en todos sus estados alélicos [Futuyma, Glossary]

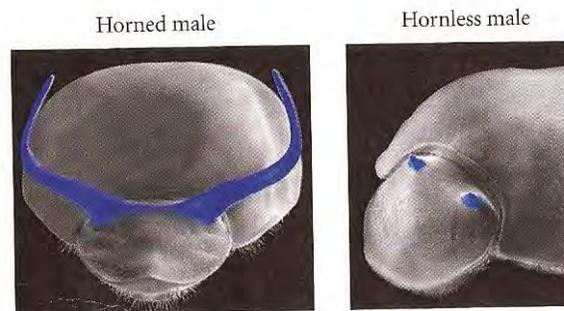
²⁷ **Loci:** plural de locus [Futuyma, Glossary]

Factor genético: Los cuernos se desarrollan largos si el tamaño del cuerpo durante la fase de pupa supera un umbral; Sin embargo, si a la pupa se le aplica la “hormona juvenil” (HJ) —la cual inhibe el desarrollo de las características de la fase adulta— los cuernos crecen cortos. Esto sugiere que la hormona HJ juega un papel importante en el desarrollo de este carácter.

Factor ambiental: Los cuernos crecen largos cuando las larvas son criadas con una dieta de muy alta calidad.

Factor genético: La selección artificial —la entrecruza de individuos con cuernos de la misma longitud por varias generaciones— produce un cambio de origen genético en la longitud de los cuernos.

[Futuyma, 2009, p.218]



Variación ambiental y plasticidad fenotípica:

Variación ambiental: Es la variación fenotípica que depende del ambiente en donde se desarrollan los organismos [Futuyma, 2009, p.217].

Ej. En plantas, “la reducción del índice de área foliar de la planta frente a la menor disponibilidad de agua en el suelo reduce la pérdida de agua por transpiración. Asimismo, el cambio en las tasas relativas de intercambio gaseoso a través de la regulación estomática puede maximizar la razón asimilación de CO₂ vs. pérdida de agua. Estas respuestas de la planta a la menor disponibilidad de agua difieren entre poblaciones de una misma especie de acuerdo con su historia ambiental. Por otra parte, el aumento del área relativa de la hoja y de la asignación de biomasa aérea a

bajas intensidades de luz incrementa la captura de fotones al maximizar la superficie fotosintéticamente activa. De modo complementario, el alargamiento de entrenudos y la reducción del número de ramas constituyen un síndrome de respuesta a situaciones de sombra” [Gianoli, 2004, p.17].

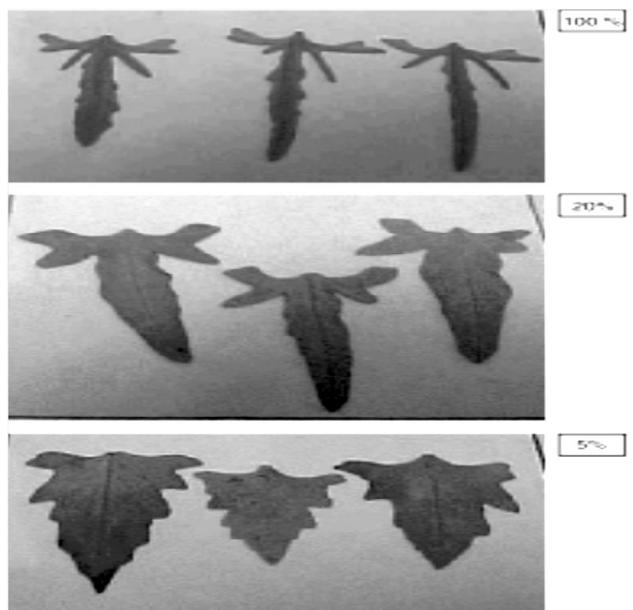


Fig.2 “Ejemplo de **plasticidad fenotípica** en plantas. La figura muestra las variaciones en la forma de la hoja en la especie *Convolvulus chilensis* (Convolvulaceae) creciendo en diferentes ambientes de intensidad luminosa: 100%, 20% y 5% de luz. En condiciones de sombra se aumenta la superficie de captación de radiación” [Gianoli, 2004, p.17]. En este ejemplo, cada conjunto de hojas (A, B, o C) es un ecotipo. Un ecotipo es un fenotipo determinado genética y ecológicamente (ambientalmente): Los genes de la planta determinan su especie (*Convolvulus chilensis*), y las condiciones ecológicas (la luminosidad) ocasionan variantes de la planta en cada localidad [Futuyma, 2009, *Glossary*].

“La plasticidad fenotípica es la capacidad de un organismo de producir fenotipos diferentes en respuesta a cambios en el ambiente. Este concepto se visualiza en la norma de reacción que es el rango de respuestas fenotípicas de un genotipo expresado en un gradiente ambiental”. Para Gianoli [2004], “Si bien la plasticidad fenotípica puede simplemente describir cambios morfológicos y fisiológicos de los individuos, resulta de mayor interés estudiar el potencial valor adaptativo de dichos cambios. La plasticidad fenotípica es un fenómeno que se da en una escala ecológica y sus consecuencias a este nivel son evidentes, e.g. aumento de la tolerancia a hábitats extremos. Sin embargo, sus consecuencias evolutivas pueden ser significativas, al modular la acción

de la selección natural. Esto ocurriría al moderar las diferencias en adecuación biológica (*fitness*) de los genotipos de una población como resultado de la variación de su expresión fenotípica en los diferentes ambientes experimentados por la población. Este “empate global” en adecuación biológica entre genotipos causado por la plasticidad fenotípica (amortiguaría las presiones de selección,) limitaría la posibilidad de selección y contribuiría a mantener la variabilidad genética dentro de una población. Al margen de sus implicancias en procesos evolutivos, se considera que la plasticidad fenotípica es un carácter en sí misma, por lo que está sujeta a selección y puede evolucionar” (aún hay debate al respecto) [Gianoli, 2004, p.13].

Niveles de variación genética

Variación genética individual	Variación genética poblacional	Variación geográfica
<p>Es la variación genética (heredable) que existe entre los individuos una población.</p> <p>La variación genética total de una población entera se denomina <i>pool</i> génico o acervo genético.</p> <p>La variación genética se genera por dos procesos moleculares: la «mutación» y la «recombinación genética».</p> <p>La mutación genera nueva variación mediante la producción de genes nuevos, y la recombinación aporta una cantidad ilimitada de nuevas combinaciones genéticas.</p>	<p>Son los cambios que suceden en las frecuencias de las variantes genéticas de la población de una generación a otra. —En genética de poblaciones, la variación poblacional es el proceso central del cambio evolutivo—. Estos cambios son consecuencia de procesos evolutivos como La «selección natural», la «migración», y la «deriva génica», entre otros.</p> <p>[Jiménez, 2007, p.32].</p>	<p>El término variación geográfica se refiere a las diferencias genéticas que existen entre poblaciones locales de una misma especie [Futuyma, 2009, pp.241]. Una población local o demo se define como: un grupo de individuos de la misma especie que ocupa al mismo tiempo una región geográfica [Dobzhansky, 1993, p.3, Futuyma, 1998, p.450 y Glossary; Hall y Hallgrimsson, 2008, p.713, 727].</p>

Variación genética individual	Variación genética poblacional	Variación geográfica
<p>[Jiménez, 2007, p.32, 37].</p> <p>En los eucariontes sexualmente reproductivos, la variación genética originada por recombinación genética surge mediante dos procesos: (1) Durante la meiosis, la formación de gametos que — debido a la segregación independiente de cromosomas no homólogos y al <i>crossing over</i> entre cromosomas homólogos— contienen diferentes combinaciones de alelos; (2) Durante la reproducción, la unión de dos gametos genéticamente distintos [Futuyma, 2009, p.232].</p> <p>La variación genética surge de un modo azaroso o aleatorio, en el sentido de que lo hace con total independencia de las necesidades del individuo [González, 2010, p.236]</p> <p>Según Hernández [2011], otras fuentes de variación son</p>		

Variación genética individual	Variación genética poblacional	Variación geográfica
la «transferencia horizontal» y los «elementos transponibles» [Hernández, 2011, pp.82, 83].		

Patrones de variación geográfica

Poblaciones simpátricas	Poblaciones parapátricas	Poblaciones alopátricas
Son poblaciones que ocupan la misma área geográfica y frecuentemente se encuentran entre sí; Comparten al menos una fracción de hábitat.	Son poblaciones adyacentes pero sus rangos geográficos no se sobreponen.	Son poblaciones separadas por barreras geográficas (un río, una montaña, o un brazo de mar).

[Futuyma, 2009, p.241; Jiménez, 2007, p.56]

Subespecies o razas geográficas:

En zoología taxonómica, el término subespecie (o raza geográfica) se refiere a una población o grupo de poblaciones de la misma especie que se reconocen o distinguen de otras poblaciones de esa especie.

En taxonomía botánica, se les llama subespecies a las poblaciones simpátricas que tienen intercambio reproductivo.

No hay reglas que especifiquen cuan distintas deben ser las poblaciones de una especie para ser llamadas subespecies, por eso, las clasificaciones que se hacen son arbitrarias.

[Futuyma, 2009, *Glossary*; Futuyma, 1998, p.257]

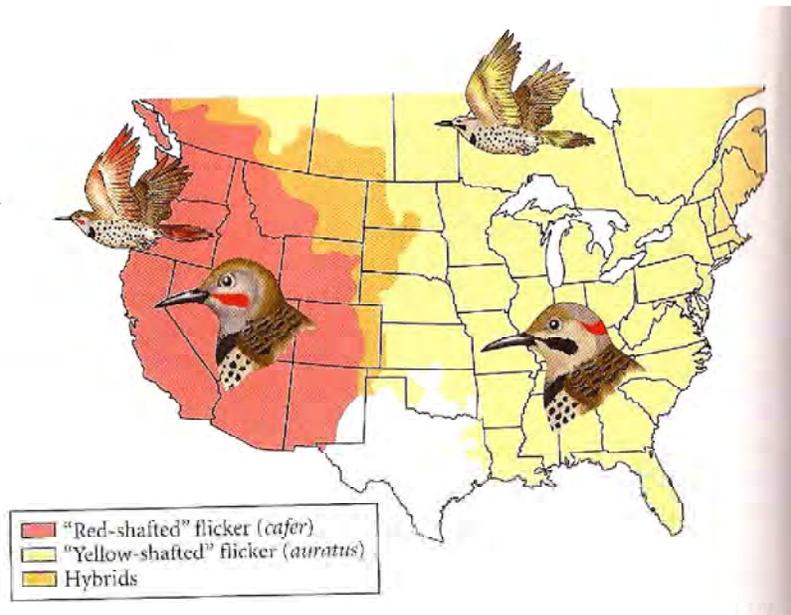


Fig.3 Dos subespecies de un pájaro carpintero común en Norteamérica (*Colaptes auratus*). La subespecie del este (*C. a. auratus*) y la del oeste (*C. a. cafer*) forman una zona de hibridación [Futuyma, 2009, pp.242].

Frecuencias alélicas y frecuencias genotípicas:

Cada locus de una población tiene dos o más alelos²⁹ que fueron originándose en el tiempo a través de la mutación. (“Aun cuando cada individuo de la especie posee dos copias de cada gen (dos alelos A_1 y A_2), en la población en su conjunto pueden existir varios alelos para el mismo gen” [Jiménez, 2007, pp.37]). Algunas veces, en un locus hay un alelo muy común: el “tipo salvaje”, y otro raro o escaso. Otras veces, dos o más alelos de un locus son igualmente comunes. La proporción de cada alelo en la población se llama frecuencia alélica (o frecuencia génica). En poblaciones diploides³⁰ sexualmente reproductivas, los alelos contenidos en el huevo o bien en el espermatozoide se combinan formando genotipos homocigotos (dos alelos iguales

²⁹ **Alelo:** Una de las muchas formas del mismo gen, presumiblemente por la mutación de la secuencia de ADN [Futuyma, Glossary].

³⁰ **Diploide:** Cuando una célula o organismo poseen dos complementos cromosómicos Futuyma, Glossary].

(A_1A_1) y genotipos heterocigotos (dos alelos diferentes (A_1A_2)). La proporción de cada genotipo en la población se llama frecuencia genotípica [Futuyma, 2009, pp.220, 221].

Ejemplo:

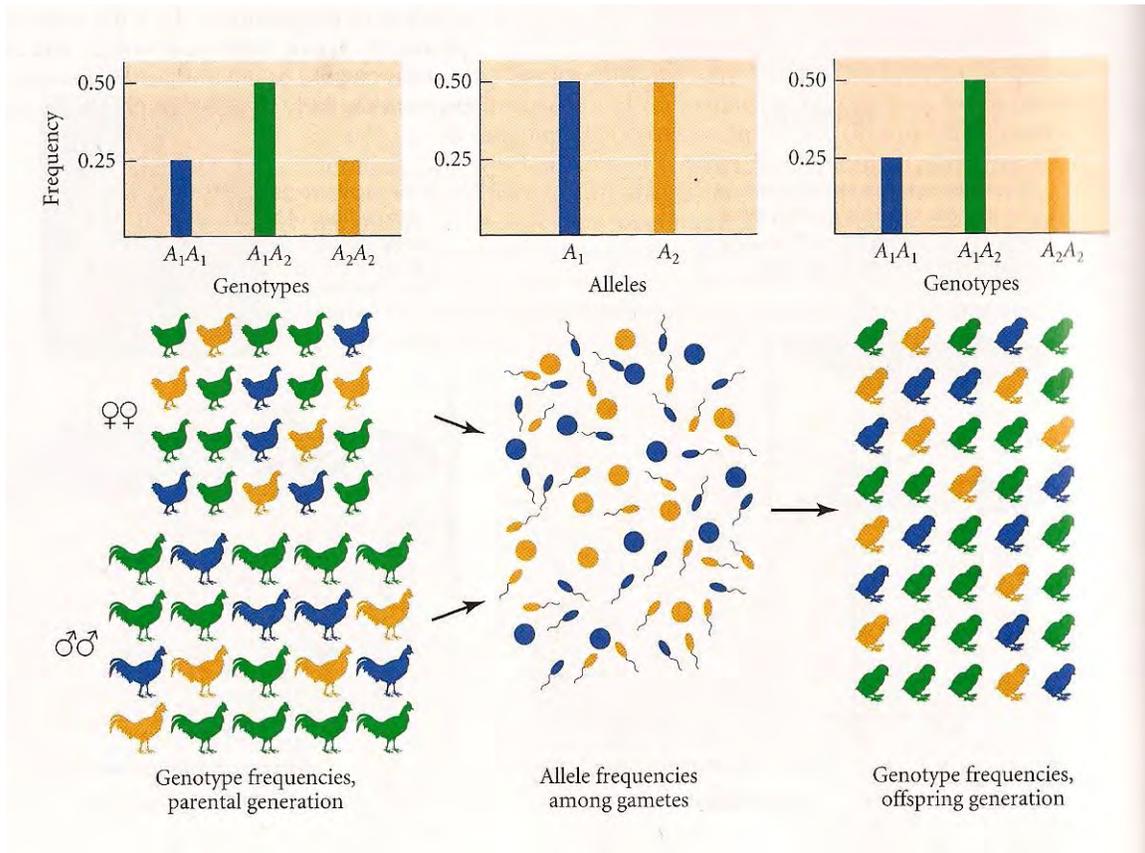


Fig.2 En la figura hay una población de aves con dos alelos (A_1 y A_2). En las gráficas se presentan: (1) las frecuencias genotípicas de una generación, (2) las frecuencias alélicas de sus gametos, y (3) las frecuencias genotípicas de la descendencia [Futuyma, 2009, pp.220].

El principio de Hardy-Weinberg:

En genética de poblaciones:

De acuerdo con la ecuación de Hardy-Weinberg³¹, las frecuencias alélicas y genotípicas de una población permanecen iguales de generación en generación a menos que sean afectadas por ciertos procesos mediante los cuales se pierden genes o bien se adquieren nuevos. Estos procesos son los responsables de la evolución. [Mayr, 2001, pp.96].

Cinco procesos tienen una importancia particular en la evolución; Estos son: selección natural, mutación, flujo génico, deriva génica, y selección sexual [Futuyma, 1998, pp.237; Mayr, 2001, pp.96].

Ej. Cierta gen está representado por dos alelos en la población: A_1 y A_2 . La frecuencia de A_1 es p y la de A_2 es q , por lo que $p+q=1$. Durante la reproducción, las frecuencias de los gametos cambian y producen nuevas frecuencias genotípicas. Esto es ilustra así:

El binomio $(p+q)(p+q)=p^2+2pq+q^2$ continuará igual de generación en generación a menos que haya una adición o bien una pérdida de genes.

		Esperma	
		$A_1 (p)$	$A_2 (q)$
Huevos	$A_1 (p)$	$A_1 A_1 (p^2)$	$A_1 A_2 (pq)$
	$A_2 (q)$	$A_1 A_2 (pq)$	$A_2 A_2 (q^2)$

[Mayr, 2001, pp.96 y 97]

Las condiciones para que se cumpla la ecuación de Hardy-Weinberg son: (a) que las cruza en la población sean aleatorias (no selección sexual); (b) que la población pueda ser tratada como infinita; (c) que no se introduzcan a la población genes nuevos

³¹ La ecuación de Hardy-Weinberg es estrictamente un modelo matemático y no una ley biológica [Mayr, 2001, pp.97]

(no flujo génico); (d) que los alelos de la población no cambien (no mutación); (e) que los individuos tengan las mismas probabilidades de sobrevivir y reproducirse (no selección natural) [Futuyma, 1998, pp.237].

Procesos responsables de la evolución:

«Mutación»:

- Los genes nuevos se originan por mutación; por lo tanto, las mutaciones son una fuente de la variación [Jiménez, 2007, p.41].
- El término “mutación” se refiere, tanto al proceso de alteración del material genético, como al producto de este proceso: el estado alterado de un gen o un cromosoma [Futuyma, 1998, p.267; Jiménez, 2007, p.41].

Las mutaciones son alteraciones en el ADN

Durante la replicación y en otros momentos, la secuencia de ADN puede alterarse por factores físicos o químicos (mutación como proceso). Muchas de estas alteraciones son revertidas por la ADN polimerasa y por otras enzimas “correctoras de pruebas” (“*proofreading*”). Otras alteraciones o mutaciones (mutación como resultado) no son “reparadas” y son la fuente de variación [Futuyma, 2009, pp.267, 268]

- Una mutación es aleatoria en el sentido de que sus probabilidades de ocurrencia no son dirigidas por el ambiente en direcciones favorables y en el sentido de que mutaciones específicas no pueden ser predichas [Futuyma, 2009, pp.212], además se desconocen sus causas [Noguera, comunicación oral].
- A veces, en la práctica, una mutación se define como un cambio en el fenotipo —en la morfología, la sobrevivencia, la conducta, u otra propiedad hereditaria—; En esta definición, es posible asignar la variante al locus de un cromosoma; Sin embargo, a partir del surgimiento de la genética molecular, una mutación es una alteración en la

secuencia de ADN independientemente de si tiene o no efectos en el fenotipo [Futuyma, 2009, pp.190, 191].

- A nivel molecular, las mutaciones genéticas incluyen: sustituciones de pares de bases, marcos de lectura (*“frameshifts”*), cambios causados por la inserción de transposones³², y duplicaciones y supresiones (desde en un par de bases, hasta en largos segmentos del cromosoma) [Futuyma, 2009, p.212].
- Las mutaciones del cariotipo —que es el juego completo de los pares de cromosomas— incluyen la poliploidia (más de dos complementos cromosómicos (XXX)) y los rearrreglos estructurales (por ej. Inversiones, traslocaciones, fisiones, fusiones, etc.) [Futuyma, 2009, p.212].
- Las mutaciones con valor evolutivo suceden cuando se replica el ADN durante la meiosis —que es la división celular que forma los gametos—. Este tipo de mutaciones se heredan a la descendencia [Jiménez, 2007, p.41; Mayr, 2001, p.97].
- Las alteraciones durante la traducción también son mutaciones [Mayr, 2001, p.97].
- Las mutaciones que alteran las secuencias de aminoácidos de las proteínas y las secuencias reguladoras, pueden afectar el fenotipo e incluso la adecuación (*fitness*)³³. Las mutaciones que no alteran las secuencias de aminoácidos ni las secuencias reguladoras, no afectan el fenotipo ni la adecuación y se denominan mutaciones neutras. [Futuyma, 2009, p.212].
- Una mutación puede alterar uno o más caracteres fenotípicos —el tamaño, la coloración, o la cantidad de actividad de una enzima—. Las alteraciones en tales

³² **Transposón:** es una secuencia de ADN cuyas copias se insertan en varios sitios del genoma [Futuyma, 2009, *Glossary*; Mayr, 2001, p.97].

³³ **Fitness:** El éxito reproductivo de una entidad; por lo tanto, la contribución promedio de un alelo o genotipo a la siguiente generación o las sucesivas generaciones [Futuyma, *Glossary*].

caracteres pueden afectar la sobrevivencia y/o la reproducción (los componentes de la adecuación). Los cambios en los caracteres morfológicos y fisiológicos causados por las mutaciones varían de nulos a drásticos. Aunque la mayoría de las mutaciones tienen un efecto deletéreo en la adecuación, hay algunas con efecto ventajoso. Incluso la mutación de un único par de bases puede tener un efecto novedoso y benéfico [Futuyma, 2009, pp.200, 212].

- La tasa (frecuencia) de cualquier mutación por locus es muy baja y no puede causar cambios sustanciales en las frecuencias alélicas de una población; Sin embargo, si se suman las mutaciones del conjunto de genes de la población por generación, el aporte total de variación genética es considerable [Futuyma, 2009, p.212].

Ejemplo:

- 1) Si el genoma diploide humano tiene 7×10^9 pb (pares de bases) y su tasa de mutación es 2.5×10^{-8} pb por generación, entonces un cigoto o (bebé) carga con 175 nuevas mutaciones en promedio.
- 2) Si sólo 2.5% del genoma del cigoto consiste en secuencias funcionales transcritas, entonces 4.3 mutaciones tienen el potencial de alterar proteínas y por lo tanto, caracteres fenotípicos.
- 3) En una población de 500,000 humanos, más de 2 millones de nuevas mutaciones con efectos potenciales surgirían en cada generación. Si tan sólo una pequeña fracción de estas mutaciones fuera ventajosa, la cantidad de “materia prima” para la adaptación sería sustancial, especialmente durante el transcurso de miles de millones de años [Futuyma, 2009, pp.198, 199].

«Flujo génico»:

- Los acervos genéticos de todas las poblaciones locales, a excepción de los de las poblaciones que están aisladas, se ven fuertemente alterados por la migración y la inmigración de genes hacia y desde otras poblaciones de la misma especie. A este proceso se le llama flujo génico [Mayr, 2001, p.98].
- La migración implica “el movimiento de los individuos de una población a otra y, por tanto, la transferencia de genes de una población a otra con la posible modificación de las frecuencias alélicas en la población receptora (y en la emisora)” [Jiménez, 2007, p.52].
- “Los mecanismos para que se efectúe el flujo génico son muy variados: incluyen la dispersión de los organismos adultos o bien el transporte de formas jóvenes, semillas o esporas por el viento, agua o animales” [Jiménez, 2007, p.52].
- La intensidad de flujo génico varía entre poblaciones y especies. Las especies altamente sedentarias (filopátricas) tiene poco flujo génico, en cambio, las especies con tendencia a dispersarse son casi panmíticas —que significa que sus poblaciones se cruzan aleatoriamente— y tienen mucha variación [Mayr, 2001, p.98]
- “Los efectos de la migración sobre una determinada población dependerán de qué tan grande sea la población receptora y si actúa sobre ella la selección natural; Así, el flujo génico que reciba una población continental tendrá menos impacto que los genes recibidos por poblaciones isleñas que, al ser más pequeñas, pueden presentar una modificación (importante) en sus frecuencias génicas” [Jiménez, 2007, p.52].
- Los individuos que se movilizan lejos de su población de origen por cientos de km., son los que tienen mayor significado evolutivo. Muchos de ellos no serán exitosos en las poblaciones vecinas, por lo que habrá posibilidades de que establezcan poblaciones fundadoras en localidades novedosas muy alejadas del rango de distribución de su especie (efecto fundador) (Ver «deriva génica») [Mayr, 2001, p.99].

- El flujo génico contrarresta la tendencia de las poblaciones locales de una especie a divergir³⁴ progresivamente por estar fragmentadas, por lo tanto es un factor evolutivo extremadamente conservador de las especies [Mayr, 2001, p.99].
- Un ejemplo de flujo génico en humanos es “la distribución de los alelos *M* y *N*, que corresponden al grupo sanguíneo *MN*. En estudios realizados en Claxton, Georgia, se midió la proporción del alelo *M* presente en tres poblaciones: afroamericanos, pobladores de África del este —que se supone es población ancestral de los primeros— y europeos. Las frecuencias encontradas para el alelo *M* fueron respectivamente 0.484, 0.474 y 0.507. Los datos muestran claramente que la frecuencia de *M* para la población de afroamericanos es intermedia entre los otros dos valores. El cambio en la frecuencia que registran los afroamericanos en relación con su población original (los pobladores de África del este) se debe a la migración de genes de la población europea, que ha ocurrido en el curso de su larga y forzada convivencia” [Jiménez, 2007, p.52]

«Deriva génica»:

- La evolución biológica se debe simultáneamente al azar (factor imprevisible) y a factores no aleatorios o deterministas (factores previsibles). La selección natural es un proceso determinista y no aleatorio, y la mutación y la deriva génica son procesos azarosos [Futuyma, 2009, p.256].
- La deriva génica y la selección natural son las dos causas más importantes de la sustitución alélica —es decir, del cambio evolutivo— en las poblaciones [Futuyma, 2009, p.256].
- Las frecuencias alélicas que difieren poco o nada en su efecto sobre la adecuación de los organismos (alelos neutros) fluctúan azarosamente. Este proceso llamado

³⁴ **Divergencia:** es la evolución creciente de la diferencia entre linajes [Futuyma, 2009, *Glossary*].

deriva génica reduce la variación, ya que eventualmente lleva a la fijación aleatoria de un alelo y a la pérdida de otros, a no ser que sea contrarrestado por otros procesos como la mutación y el flujo génico [Futuyma, 2009, p.256].

- La deriva génica es la fluctuación azarosa de las frecuencias alélicas de una población [Futuyma, 2009, pp.256]. La deriva génica sucede cuando en poblaciones pequeñas y estables —que no están siendo afectadas por otros procesos evolutivos—, los alelos se pierden simplemente por errores de muestreo durante la reproducción aleatoria (procesos estocásticos³⁵) [Mayr, 2001, p.99].

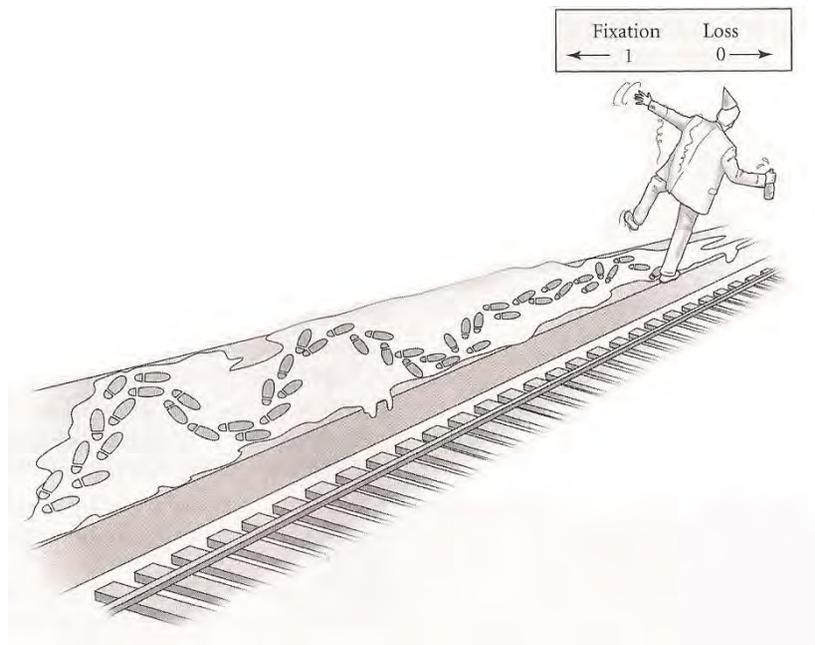


Fig.3 En la figura se observa un “paseo azaroso” o caminata de borracho (“drunkard’s walk”). El borracho eventualmente se caerá de la plataforma (“0”) si no retoma el rumbo lejos de las vías. Las orillas de la plataforma (“0” y “1”) representan la pérdida o la fijación del alelo respectivamente [Futuyma, 2009, p.259].

³⁵ “En estadística, y específicamente en la teoría de la probabilidad, un proceso estocástico es un concepto matemático que sirve para caracterizar una sucesión de variables aleatorias (estocásticas) que evolucionan en función de otra variable, generalmente el tiempo. Cada una de las variables aleatorias del proceso tiene su propia función de distribución de probabilidad y, entre ellas, pueden estar correlacionadas o no. Cada variable o conjunto de variables sometidas a influencias o impactos aleatorios constituye un proceso estocástico” [<http://es.wikipedia.org>].

- Las fluctuaciones azarosas de las frecuencias alélicas (la deriva génica) pueden resultar en el reemplazo de unos genes por otros, es decir, en una evolución no adaptativa. La selección natural resulta en adaptación, pero la deriva génica no; Es decir, el proceso de deriva génica no es responsable de las características anatómicas, fisiológicas, y conductuales de los organismos que los equipan para la sobrevivencia y la reproducción. No obstante, la deriva génica tiene consecuencias importantes, especialmente al nivel de la genética molecular: parece explicar gran parte de las diferencias en el ADN entre especies [Futuyma, 2009, p.256].
- Para que ocurra deriva génica en una población, se deben cumplir tres condiciones: 1) que la población sea pequeña, 2) que se mantenga pequeña a través de varias generaciones, 3) y que no esté siendo afectada por otras fuerzas evolutivas [Jiménez, 2007, p.54].

Para explicar la deriva génica se tomó un ejemplo de Jimenez [2007]:

En una población pequeña hay dos alelos: uno normal A_1 , con una frecuencia de 0.6, y uno mutante A_2 , con una frecuencia de 0.4. Estos alelos no influyen sobre la capacidad reproductora o la supervivencia de los individuos. Mediante un modelo se mostrará el comportamiento de los alelos después de una reproducción aleatoria. Se usan 60 frijoles negros (alelo A_1) y 40 frijoles cafés (alelo A_2). Se colocan los 100 frijoles en una bolsa y posteriormente se sacan de manera aleatoria uno a uno (simulación de gametos); cada vez se anota el tipo de frijol extraído y se regresa inmediatamente a la bolsa. Se continúa este procedimiento hasta obtener 10 cigotos (simulación de la reproducción aleatoria). Si lo que se obtiene es:

$$A_1A_2 - A_2A_2 - A_1A_2 - A_1A_1 - A_1A_1$$

$$A_2A_2 - A_1A_2 - A_1A_1 - A_1A_2 - A_1A_2$$

Entonces, la frecuencia de los genotipos es:

$$A_1A_1 = 0.3$$

$$A_1A_2 = 0.5$$

$$A_2A_2 = 0.2$$

Si estos cigotos crecen se tendrá una frecuencia alélica de $A_1 = 0.55$ y $A_2 = 0.45$

En una sola generación las frecuencias iniciales cambiaron. Se puede repetir varias veces el ejercicio y la proporción de los alelos cambiará de manera errática. Así funciona la deriva génica. “En una población real, si la frecuencia de los alelos fluctúa constantemente a través de generaciones y no existe un mecanismo que la estabilice, un alelo finalmente puede fijarse en la población o perderse”.

[Jiménez, 2007, pp.53 y 54]

- En la naturaleza, la deriva génica ocurre debido a fenómenos llamados cuello de botella. Un cuello de botella sucede cuando existen restricciones en el tamaño de una población, tal como en las llamadas poblaciones fundadoras. Una población fundadora es una población recién establecida y con muy pocos individuos — aquellos que han emigrado lejos del rango de distribución de su especie—. Si la nueva población crece en tamaño rápidamente, las frecuencias alélicas probablemente no serán muy diferentes a las de la población de origen, ya que no se erosionará la variación genética. Si por el contrario, la colonia permanece pequeña, la deriva génica ocasionará que las frecuencias alélicas sean muy diferentes a las de la población de origen, ya que se erosionará la variación genética. Si esta colonia persiste y crece en tamaño, las nuevas mutaciones restablecerán los niveles altos de variación (aunque la diversidad alélica ya no será similar a la de la población de origen) [Futuyma, 2009, p.263].
- Un ejemplo de deriva génica en la naturaleza es:

“La historia de la foca elefante o elefante marino ártico *Mirounga angustirostris* es un ejemplo dramático de lo que ocurre cuando una población disminuye su tamaño normal hasta casi llegar a la extinción. A finales del siglo XIX estos impresionantes animales que migran entre Alaska Y Baja California fueron diezmados por los cazadores que se interesaban por su piel y su grasa. La población quedó reducida a

unos 20 animales, pero como estos forman unidades familiares constituidas por un macho alfa y varias hembras, sólo unos pocos machos pudieron aparearse con las hembras, lo que redujo drásticamente su variabilidad genética” [Jiménez, 2007, p.54].

En este ejemplo sucedió endogamia. La **endogamia** es el apareamiento no aleatorio que “se presenta cuando los individuos tienden a aparearse con otros con los cuales están emparentados y tienen, por tanto, un genotipo muy similar a ellos. Este fenómeno se presenta normalmente cuando el tamaño de la población es pequeño. El caso más extremo de endogamia es la autofecundación, en la que los gametos de un mismo individuo se unen para formar un cigoto; ésta es muy común entre las plantas hermafroditas, aunque también se presenta en algunos animales como las tenias. El apareamiento no aleatorio puede deberse a la poca capacidad de dispersión que tienen los individuos quienes, por esta razón, forman pequeñas poblaciones dentro de las cuales se reproducen, o bien cuando una población atraviesa por un cuello de botella (reducción del número de individuos por eventos azarosos) y tienen la consecuente necesidad de aparearse con organismos relacionados genéticamente” (como en este ejemplo) [Jiménez, 2007, p.51].

“Gracias a políticas de conservación implantadas, especialmente en nuestro país, las poblaciones de estos animales han aumentado notablemente (las estimaciones sobre su número varían entre 130 000 y 175 000). Sin embargo, debido al cuello de botella genético por el que pasaron, su variación genética es prácticamente nula, situación que los hace vulnerables a las enfermedades y poco hábiles para enfrentar cambios ambientales de corto o largo plazo” [Jiménez, 2007, p.51].

1.4 SELECCIÓN NATURAL Y ADAPTACIÓN

Este subcapítulo trata de “LA SELECCIÓN NATURAL Y LA ADAPTACIÓN”, dos de los cinco conceptos que, según la autora de esta tesis, conforman la teoría de la selección natural (los cimientos de la teoría de la evolución según Gould):

1.4.1 SELECCIÓN NATURAL

¿Qué es la selección natural?

- Selección natural no es sinónimos de evolución

- La evolución es un proceso de dos pasos: (1) el origen de variación por mutación o recombinación, seguido por (2) cambios en las frecuencias de alelos y genotipos causados principalmente por deriva génica y selección natural. Ni la deriva génica, ni la selección natural tienen que ver con el origen de la variación —uno de los pasos de la evolución— [Futuyma, 2009, p.304].

La evolución puede ocurrir por otros procesos distintos a la selección, especialmente por deriva génica —la cual no produce adaptaciones—; Y la selección natural puede ocurrir sin causar un cambio evolutivo como cuando mantiene el status³⁶ quo eliminando las desviaciones del fenotipo óptimo (selección estabilizadora) [Futuyma, 2009, p.283].

- Para Mayr [2001], la selección natural sucede porque:
 - * Todas las especies producen mucha más descendencia de la que puede sobrevivir en cada generación.

 - * Todos los individuos de una población son genéticamente distintos.

³⁶ **Statu quo:** “En la diplomacia, estado de cosas en un determinado momento” [Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. 22ª edición].

- * Estos están expuestos a la adversidad del ambiente, y casi todos perecen o no se reproducen.
- * Sólo unos pocos individuos sobreviven y se reproducen.
- * Sin embargo, estos sobrevivientes no son una muestra aleatoria de la población; sobrevivieron por poseer ciertos caracteres que los favorecieron.

[Mayr, 2001, p.117]

➤ Para Ridley [1998]:

- * La característica de los seres vivos de producir más descendencia de la que puede sobrevivir es universal en la naturaleza. En todas las especies, muchos de los individuos que nacen, mueren, ya sea durante su juventud o durante su adultez.
- * Esto sucede porque la naturaleza ofrece recursos insuficientes para mantener a toda la descendencia. Una población se multiplicaría indefinidamente si no fuera porque las cantidades limitadas de comida y espacio se lo impiden.
- * Entonces, en un sentido ecológico, los organismos que nacen compiten por los recursos para sobrevivir y reproducirse —directamente (por ejemplo, defendiendo su territorio), e indirectamente (por ejemplo, compitiendo por comida)—. Darwin llamó a esta competencia ecológica “lucha por la existencia” (“*struggle for existence*”). (Esta expresión es metafórica, no implica una pelea física para sobrevivir, aunque muchas veces las peleas ocurren).
- * En resumen: Los organismos producen más descendientes de los que pueden sobrevivir —y dada la cantidad limitada de recursos—los organismos

compiten para sobrevivir. Sólo los competidores exitosos se reproducen. A este proceso, Darwin lo llamó selección natural.

- * Para que la selección natural pueda ocurrir, se necesitan 4 condiciones; si alguna de estas no se cumple, la selección natural no ocurre:

Reproducción. Las entidades se deben reproducir para formar una nueva generación.

Herencia. La descendencia debe parecerse a sus padres: “lo similar debe producir lo similar”.

Variación en los caracteres de los individuos de una población.

Variación en el éxito reproductivo (*fitness*) de los organismos en función de sus caracteres hereditarios.

El “éxito reproductivo” o *fitness* es un término técnico que significa: El número promedio de descendientes de un individuo en relación al número promedio de descendientes de los miembros de la población.

La variación en el éxito reproductivo de los organismos significa que los individuos de la población con determinados caracteres tienen mayor probabilidad de reproducirse (es decir, tiene mayor éxito reproductivo que otros).

[Ridley, 1996, pp.70-72]

- Para Jiménez [2007], la selección natural “significa que los organismos de una población tienen capacidades diferentes para sobrevivir y dejar descendencia en virtud de sus características individuales” [Jiménez, 2007, p.46].

- Para Mayr [2001], la selección natural es un proceso de dos pasos:

Paso 1: La producción de Variación → Un fenómeno de tipo azaroso (en relación al ambiente).

Paso 2: Aspectos no aleatorios de sobrevivencia y reproducción → Un fenómeno de tipo no-azaroso que se repite de nuevo en cada generación:

Durante la selección (o, según Mayr, durante la eliminación), la “buena calidad” del nuevo individuo es probada constantemente, desde su estadio larvario (o embrionario) hasta su adultez y su periodo de reproducción. Aquellos individuos que sean más eficaces haciendo frente a los desafíos del entorno natural y compitiendo con otros miembros de la población y con otras especies, tendrán la mayor oportunidad de sobrevivir y reproducirse.

Durante este segundo paso, mucha eliminación (selección) ocurre aleatoriamente. Por ejemplo, cuando hay catástrofes naturales como huracanes, erupciones volcánicas, incendios, y nevadas, los individuos muy aptos (ser “apto” significa poseer ciertos rasgos que favorecen la sobrevivencia) son eliminados aleatoriamente.

[Mayr, 2001, pp.119, 120]

- Para González [2011], “La selección natural puede ser entendida como un proceso que tiene lugar sólo si se cumplen en una población las siguientes condiciones (modificado a partir de Endler, 1986)”:

- * “Variabilidad individual en algunos caracteres (variación fenotípica)”.

- * “Una relación directa entre esos caracteres y la habilidad del individuo que los posee para sobrevivir y reproducirse (variación en la eficacia biológica)”.
- * “Una similitud entre los caracteres que presentan los progenitores y sus descendientes que debe ser independiente del ambiente común (heredabilidad de caracteres)”.

[González, 2011, p.57; y Jiménez, 2007, p.46]

- “Futuyma (2009) define la selección natural como *cualquier diferencia consistente en el «fitness» (o éxito reproductivo) entre clases fenotípicamente diferentes de entidades biológicas*”.

El *fitness* o éxito reproductivo incluye: 1) la sobrevivencia (prerrequisito para la reproducción) y 2) la reproducción en sí misma. Es decir, “Por *fitness* se entiende la tasa media de incremento *per cápita* en números de la entidad biológica en cuestión. Dado que la probabilidad de sobrevivir y el número medio de descendientes entran en la definición de *fitness*, y que estos conceptos sólo son aplicables a grupos de eventos u objetos, el *fitness* se define para un set de entidades tal como todos los individuos con un genotipo dado. Así, sólo habrá selección natural cuando se verifique una diferencia media (estadísticamente significativa) entre los éxitos reproductivos de los miembros de distintas clases. No tiene sentido hablar del *fitness* de un individuo, ya que el éxito reproductivo de dicho individuo puede haber sido afectado por el azar”.

[Futuyma, 2009, citado en, González, 2011, pp.57, 58; y Futuyma, 2009, p.283]

Ejemplo que ilustra el concepto de *fitness* o éxito reproductivo:

“Las plantas de “anisillo” (*Tagetes micrantha*) que crecen en el valle de México muestran diferencias en los tiempos de germinación”. Hay tres tipos de plantas:

- 1) Las “que germinan muy temprano (cuando inician las lluvias, en junio) y tienen una alta probabilidad de morir por la sequía”;

- 2) Las “que germinan en un punto intermedio (en julio)”;
- 3) Las “que germinan muy tarde (en agosto) y tienen una alta probabilidad de sobrevivir, ya que brotan cuando la temporada de lluvias está en su fase intermedia”.

Fecha de germinación	Número de semillas que germinaron	Número de plántulas sobrevivientes	Promedio de número de semillas que produjo cada una	<i>Fitness</i> o éxito reproductivo (plantas vivas por número de semillas)
11 de junio	3 550	150	100	$150 \times 100 = 15\ 000$
5 de julio	2 323	800	40	$800 \times 4 = 32\ 000$
15 de agosto	2 324	2 000	2	$2\ 000 \times 4 = 8\ 000$

Las plantas que nacieron temprano producen muchas semillas, las plantas que germinan tarde producen muy pocas semillas, y las plantas con los fenotipos de germinación intermedia dejan, en conjunto el mayor número de semillas para la generación siguiente, por lo tanto son las que tienen el mayor éxito reproductivo.

[Jiménez, 2007, p.46]

La selección natural es un proceso de «eliminación», no de selección:

Decir: “los individuos con X rasgo fueron seleccionados”, conlleva una pregunta: ¿Quién está seleccionando? En el caso de la selección artificial es, de hecho, el criador (o el agricultor) quien selecciona a ciertos individuos “superiores” para que sean los reproductores de la siguiente generación. Sin embargo, estrictamente hablando, no hay ningún agente seleccionador implicado en la selección natural: Lo que Darwin llamó selección natural —como metáfora— es de hecho un proceso de eliminación. Quienes dan origen a una nueva generación son aquellos individuos que sobreviven de entre toda la descendencia de sus padres debido a que poseen ciertas características que los hacen bien adaptados (“well adapted”) a las condiciones ambientales

prevalcientes. El resto de los demás hermanos son eliminados por el proceso de selección natural [Mayr, 2001, p.118].

¿Cuál es la diferencia entre selección y eliminación en el proceso evolutivo?

Un proceso de selección tendría un objetivo concreto, implicaría la determinación del mejor o del fenotipo “apto”³⁷ (ser “apto” (“fit”) significa poseer ciertas propiedades que incrementan la probabilidad de sobrevivir). Sólo relativamente pocos individuos de una generación dada calificarían y sobrevivirían al proceso de selección. Esta pequeña muestra sería capaz de preservar sólo una pequeña porción de la variación completa de la población. El proceso de selección sería altamente moderado (con muy poca variación) [*idem*].

Por el contrario, el proceso de eliminación del menos apto (del que tiene ciertas propiedades que disminuyen al máximo su probabilidad de sobrevivir) permite la sobrevivencia de un número bastante grande de individuos que no tienen deficiencias evidentes en su aptitud (en su probabilidad de sobrevivir). Una muestra abundante de sobrevivientes proporciona, por ejemplo, el material necesario para el ejercicio de selección sexual. La selección natural como proceso de eliminación también explica porqué la sobrevivencia es tan irregular de generación en generación: El porcentaje de individuos menos aptos en una población depende de la severidad de las condiciones ambientales de cada año [*idem*].

Selección natural y genética de poblaciones:

En genética de poblaciones³⁸, el cambio evolutivo por selección natural consiste en cambios en las frecuencias génicas debidos a diferencias en el éxito reproductivo de las distintas variantes [González, 2011, p.59].

³⁷ El término “apto” (“fit”) se tomó textual de Mayr [2001].

³⁸ “Hay muchas formas de definir la ‘genética de poblaciones’. En general, la genética de poblaciones es el estudio de la aplicación de las leyes de Mendel y otros principios genéticos a poblaciones completas de organismos en vez de aplicarlas solamente a individuos. La genética de poblaciones es también el estudio de los cambios en las frecuencias génicas y, como tal, se relaciona estrechamente con la genética evolutiva (...)” [<http://biologiamyblog.files.wordpress.com>].

Según González [2011], en su forma actual, el modelo de evolución por selección natural (MESN) asigna un lugar central a la genética poblacional, sin embargo, la selección natural puede analizarse como un modelo autónomo, no como un sub-modelo de la genética poblacional [*idem*].

“De hecho, la lógica del modelo en su forma elemental puede formularse con independencia de la genética poblacional (tal como lo hizo Darwin) y, por otro lado, el análisis del proceso selectivo implica consideraciones (ecológicas, fisiológicas, etológicas, etc.) en relación con la biología de los organismos que van más allá de la genética poblacional” [*idem*].

“La aplicación del MESN a un caso particular requiere siempre consideraciones de tipo ecológico, por ejemplo sobre las relaciones inter e intraespecíficas o sobre las relaciones entre los factores abióticos del ecosistema y los individuos de la población considerada. Vale decir requiere siempre tomar como objeto de análisis al individuo, su biología particular (fisiología, anatomía, conducta, desarrollo, etc.) y sus interacciones con el mundo. Esto se debe a que la noción de fitness es siempre relativa a la relación que existe entre el ambiente en que se desarrolla un individuo y sus características morfológicas, fisiológicas y etológicas particulares” [González, 2011, p.60].

Un caso de selección natural

Polilla moteada (*Biston betularia*)



Fig.4

Forma común “moteada clara” (imagen superior).

Forma “melánica” (imagen inferior).

[<http://cte-paysandu.blogspot.com>]

En el norte de Europa, la forma común de “polilla moteada” (*Biston betularia*) tiene un patrón de coloración moteado claro. Esta polilla descansa en las ramas de los árboles —cuya superficie es clara a causa de los líquenes— y su patrón de coloración claro le sirve de camuflaje contra el ataque de los depredadores.

Durante la revolución industrial, los líquenes de los árboles cercanos a las zonas industriales del Reino Unido, murieron debido a la contaminación por humo, y los troncos y las ramas se cubrieron de color negro. En esta época, la forma “melánica” de polilla moteada se volvió cada vez más frecuente —hasta llegar a ser la forma común—. Este incremento fue causado por la selección natural. Las observaciones científicas de la época revelaron que —debido a que las polillas melánicas se camuflaban en las ramas negras de los árboles— las aves se alimentaban de las polillas claras que dejaron de camuflarse en los árboles. Además, cuando por experimentación, ambas

formas se liberaban en las zonas no industriales, las polillas claras se volvían la forma común.

El fenómeno de las polillas moteadas (*Biston betularia*) reunió las cuatro condiciones para que la selección natural haya operado:

- 1) Reproducción: Las polillas se entrecruzan.
- 2) Herencia: El patrón de coloración se hereda (las polillas melánicas tienen mayor probabilidad de producir descendencia melánica que las polillas de la coloración moteada normal).
- 3) Variación: Hay variación en los patrones de coloración.
- 4) Variación en el éxito reproductivo: Las diferentes formas (clara y melánica) tienen diferente éxito reproductivo (*fitness*) (las formas melánicas tienen mayor probabilidad de sobrevivir en las zonas industriales).

[Ridley, 1996, p.72]

En el siguiente ejemplo (tabla), la selección natural explica:

a) la evolución	b) la adaptación
<p>La población de polillas evolucionó, es decir, cambió a través del tiempo, y lo hizo mediante selección natural.</p> <p>La selección natural produce evolución cuando el ambiente cambia; también se produce evolución cuando el ambiente es constante y de pronto se origina una nueva variante que sobrevive mejor que las variantes comunes de la especie.</p> <p>Si el proceso que operó en <i>Biston betularia</i> hubiera continuado por miles de millones de años, un cambio evolutivo más grande hubiera</p>	<p>El camuflaje de la polilla moteada es un ejemplo sencillo de adaptación: el patrón de color de las polillas moteadas —contra el fondo apropiado— las hizo menos visibles y, por lo tanto, fue menos probable que fueran comidas por las aves, <u>lo que aumentó su sobrevivencia.</u></p> <p>Cuando el ambiente cambió, la variante adaptativa del mismo también cambió. En las regiones industriales, la coloración moteada clara de las polillas ya no fue adaptativa. La selección natural incrementó la frecuencia de las polillas melánicas originando una</p>

a) la evolución	b) la adaptación
<p>ocurrido. De hecho, una versión de la teoría evolutiva sostiene que el proceso abstracto de la selección natural —que causó el cambio en la población de polillas moteadas—, es también responsable —de manera general y a través de una escala de tiempo mucho más grande— de la diversificación completa de la vida a partir de un ancestro común hace 3 500 millones de años.</p> <p>La selección natural también explica la ausencia de cambio en una población: Cuando el ambiente es constante y ninguna variante superior se origina en la población, no hay cambio evolutivo.</p>	<p>adaptación (su color) → La selección natural genera adaptación.</p>

[Ridley, 1996, p.73]

Según su efecto sobre algún carácter, hay tres tipos de selección natural:

--

1. Selección natural direccional

“Se observará una relación significativa entre el valor del atributo y el éxito reproductivo de los individuos. Es decir, la selección favorecerá a los individuos que se hallan en alguno de los extremos de la distribución fenotípica. Si este es el caso, el valor promedio del atributo se modificará con respecto al valor que tenía la distribución antes del evento selectivo” [Domínguez, Feroni, y Sosenski, 2009, pp.14]. Por ejemplo:

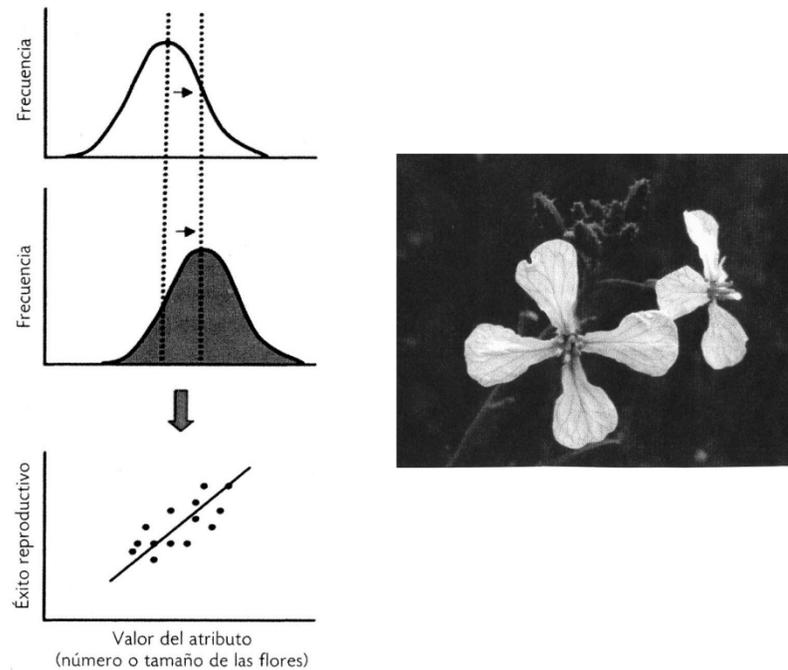


Figura 1. “La distribución fenotípica antes (en blanco) y después (en oscuro) del evento de selección en que se favoreció a los individuos con un valor alto del atributo” [Domínguez et al., 2009, p.14].

“Ejemplo: al analizar la relación entre el número y tamaño de las flores, y el éxito reproductivo de *Raphanus raphanistrum*, se encontró un patrón de selección direccional positiva sobre estos dos atributos. Las plantas con un mayor número de flores producían más frutos y semillas que las que tenían pocas flores. En el mismo sentido, las plantas con flores grandes tuvieron una adecuación (éxito reproductivo) más alta que aquellas con flores pequeñas. Esto podría deberse a que ambos atributos están relacionados con las preferencias de los polinizadores”.

[Conner, et al., 1996, citado en, Domínguez et al., 2009, p.14]

Selección natural estabilizadora

“Si los individuos que se encuentran cerca del valor promedio de la distribución fenotípica tienen mayor éxito reproductivo que los que se encuentran hacia los extremos, entonces observaremos una reducción en la varianza de la distribución fenotípica y ningún cambio en la media. Este tipo de selección se conoce como estabilizadora ya que mantiene el valor promedio de la distribución a través de las generaciones” [Domínguez, et al., 2009, pp.14]. “(...) la intensidad de la selección será proporcional al cambio en la varianza” [Endler, 1986, citado en Domínguez, et al., 2009, pp.14]. Por ejemplo:

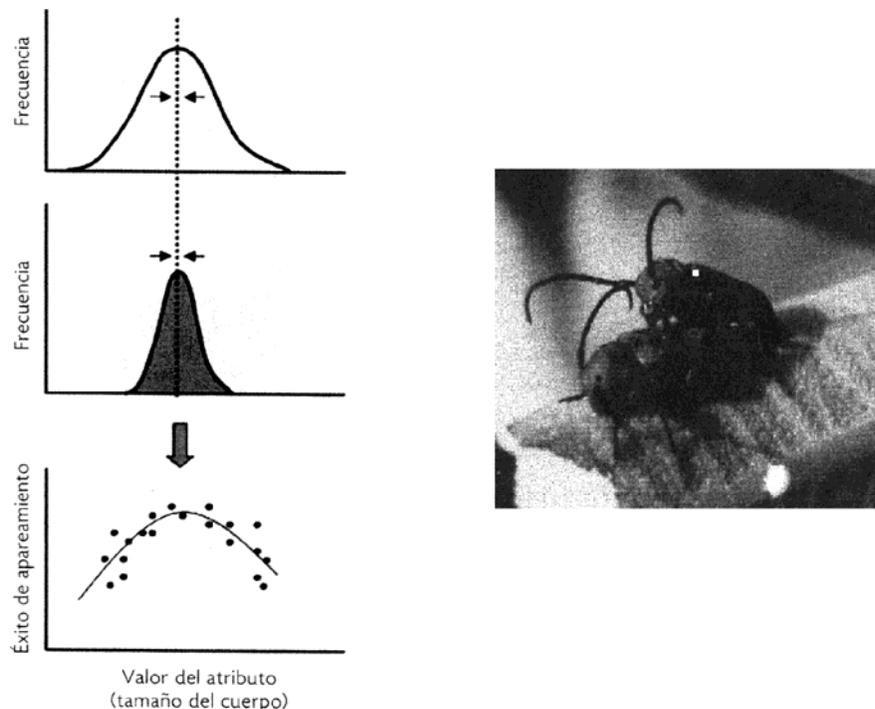


Figura 2. “La distribución fenotípica del atributo antes (en blanco) y después (en oscuro) del evento selectivo que favoreció a los individuos cercanos al valor promedio del atributo” [Domínguez et al., 2009, p.15].

“Ejemplo: un estudio experimental mostró que el tamaño corporal de los machos del escarabajo *Tetraopes tetraophthalmus* estaba asociado con su éxito de apareamiento. Los machos que se apareaban tuvieron valores fenotípicos intermedios de tamaño corporal, comparados con los machos que no se apareaban. Éste es un claro ejemplo de selección estabilizadora, pues las hembras prefirieron

aparearse con machos de tamaño mediano probablemente porque éstos les resultaron más atractivos o presentaron alguna característica fisiológica ventajosa en términos reproductivos”.

[Mason, 1964, citado en, Domínguez, et al., 2009, p.15]

Selección natural disruptiva

“La selección disruptiva se caracteriza porque los individuos con valores cercanos a la media tienen una desventaja reproductiva. Esta desventaja se manifestará como un aumento en la varianza de la distribución fenotípica. Cuando la selección disruptiva opera de manera sostenida a través de las generaciones favorece la evolución de polimorfismos” [Domínguez, et al., 2009, pp.14]. (...) la intensidad de la selección será proporcional al cambio en la varianza” [Endler, 1986, citado en Domínguez, et al., 2009, p.14].

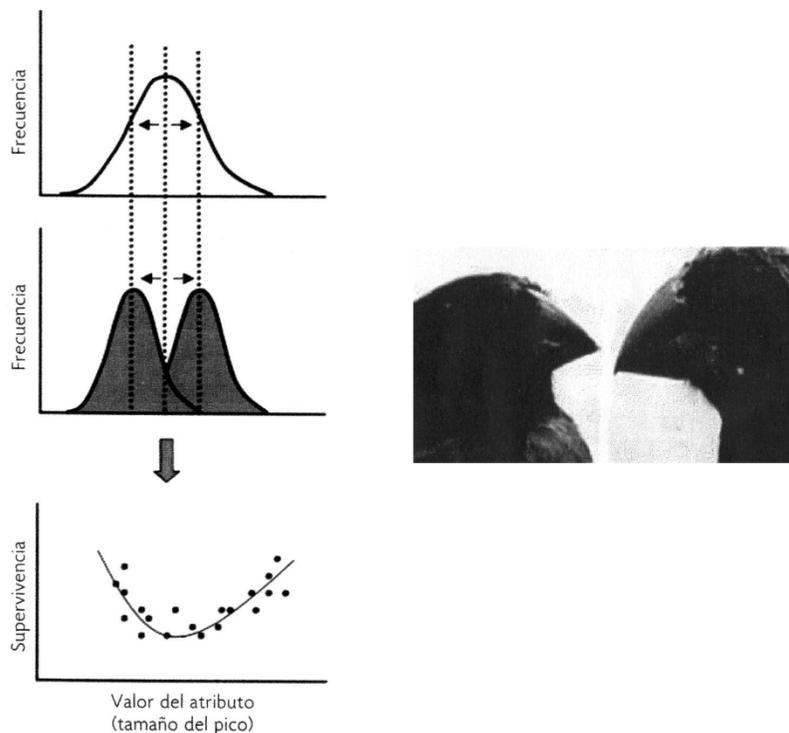


Fig. 3 “La distribución fenotípica del carácter antes (en blanco) y después (en oscuro) de la selección, donde los individuos que están en los dos extremos de la distribución del atributo son favorecidos” [Domínguez et al., 2009, p.15].

“Ejemplo: los pinzones *Geospiza fortis* de pico largo que viven en las Islas Galápagos, tienen la capacidad de comer semillas duras, lo que les confiere ventajas en términos de supervivencia, mientras que los de pico pequeño les va bien comiendo semillas más suaves. En contraste, los pinzones con picos de tamaño intermedio tienen una tasa de mortalidad más alta porque no pueden consumir las semillas tan eficientemente como los pinzones que están en los extremos fenotípicos. Este es un caso de selección disruptiva sobre el tamaño del pico”.

[Hendry et al., 2009, citado en Domínguez, et al., 2009, p.15]

1.4.2 ADAPTACIÓN

La teoría de la selección natural explica:

a) Las adaptaciones de los organismos: que son las innumerables características que los equipan para la supervivencia y la reproducción.	b) La divergencia de las especies a partir de un ancestro común, es decir, explica la biodiversidad.
--	--

[Futuyma, 2009, p.279]

La selección natural es el único modelo capaz de explicar la adaptación:

“Así, aunque el estudio de la evolución en general requiera una aproximación pluralista desde el punto de los procesos, el análisis de evolución adaptativa en particular debe centrarse en el proceso de selección natural”. De hecho, la teoría de la selección natural goza de un consenso total entre los biólogos evolucionistas, gracias a las innumerables evidencias científicas que la apoyan.

[Futuyma, 2005; Hasson 2006; Ridley, 2004, entre otros; y González, 2010, citados en, González, 2010 p.231]

¿Qué es la adaptación?:

La palabra adaptación tiene tres significados en biología:

- Adaptación fisiológica: Describe los ajustes al ambiente del fenotipo de un organismo individual, tal como la aclimatación fisiológica a la temperatura; Sin embargo, esta definición no tiene relación alguna con el fenómeno evolutivo: Evolucionan las poblaciones, no los individuos [Futuyma, 1998, p.354; González, 2010, p.237].

➤ Adaptación como proceso en biología evolutiva:

- ✓ En biología evolutiva, es el proceso de **adaptarse** (por ejemplo al decir: “la adaptación no puede ocurrir sin variación genética”) [Futuyma, 1998, pp.354].
- ✓ “Es sinónimo de evolución por selección natural” → Las poblaciones se adaptan [González, 2010, pp.237].

Sin embargo, para Mayr [2001], es incorrecto usar el término adaptación para referirse al proceso activo por el cual se adquiere un carácter favorecido. Según este autor, esa definición de adaptación es teleológica, es decir, proviene de la antigua creencia de que los organismos tienen una capacidad innata de mejorar, de volverse cada vez “más perfectos”. Para Mayr, esta visión es indefendible. Para un darwinista, la adaptación es un fenómeno completamente “a posteriori” (posterior a)³⁹. En cada generación, todos los individuos que sobreviven al proceso de “eliminación” (selección natural) están de hecho “adaptados” y así las propiedades que les permitieron sobrevivir. La “eliminación” no tiene el “propósito” o el “objetivo teleológico” de producir adaptación; más bien, la adaptación es un subproducto⁴⁰ del proceso de “eliminación” [Mayr, 2001, p.150].

³⁹ **A posteriori:** “Indica la demostración que consiste en ascender del efecto a la causa, o de las propiedades de algo a su esencia” [RAE].

⁴⁰ **Subproducto:** “En cualquier operación, producto que en ella se obtiene además del principal. Suele ser de menor valor que este” [RAE].

➤ Adaptación como producto en biología evolutiva: definición ahistórica y definición histórica.

Definición ahistórica. Es la definición aceptada por todos los biólogos evolutivos [Véase Futuyma, a1998, p.354; b2009, pp.294; Mayr, 2001, p.149]:

- ✓ La definición más amplia de adaptación como producto (definición ahistórica) fue proporcionada por Reeve y Sherman:

Una adaptación es una variante fenotípica cuyo efecto es el más alto éxito reproductivo de entre un específico grupo de variantes en un ambiente dado [Futuyma, 1998, p.354].

- ✓ Las adaptaciones son los caracteres de los organismos que mejoran el éxito reproductivo (incluyendo la sobrevivencia) en relación a otros caracteres posibles [*idem*].
- ✓ Una adaptación es un carácter que mejora el *fitness* de un organismo, es decir, una adaptación es un caracter que contribuye a la sobrevivencia y al éxito reproductivo de un individuo o grupo social [Mayr, 2001, p.149].
- ✓ Una adaptación es la propiedad de un organismo —ya sea una estructura, una característica fisiológica, una conducta, o cualquier otro atributo— que lo favorece en la lucha por la existencia [Mayr, 2001, p.149].
- ✓ Una adaptación es “todo rasgo que actualmente confiere una ventaja de supervivencia y reproducción. No importa en esta definición cómo se produjo dicho rasgo, sino su efecto actual sobre la *performance* (desempeño) del individuo” [Futuyma, 2005, citado en González, 2010, p.237].

Estas definiciones son ahistóricas porque se refieren sólo a los efectos del carácter en el éxito reproductivo —en tiempo presente—, en comparación con los variados caracteres que pueden ser encontrados dentro la especie (o ser relativos a la especie), o que podrían ser obtenidos por manipulación experimental [Futuyma, 1998, p.354].

Según Mayr [2001], para determinar si un carácter es adaptativo o no, lo que importa es el aquí y el ahora. Es irrelevante si el carácter es una adaptación desde hace mucho tiempo —como el esqueleto externo de los artrópodos—, o si fue adquirido por un cambio de función —como la aleta del delfín—; lo que importa es si en el presente el carácter contribuye al éxito reproductivo del individuo; es decir, por ser la adaptación un resultado “a posteriori” y no teleológico, la historia temprana de cualquier carácter fenotípico es irrelevante al momento de determinar en el presente su valor adaptativo [Mayr, 2001, p.149].

Definición histórica. Algunos biólogos que aceptan el concepto de adaptación como producto, incluyen un perspectiva histórica [Futuyma, 1998, p.354]. Harvey y Pagel [1991] sostienen que:

- ✓ Una adaptación es un carácter derivado (un carácter que se produce a partir de otro) que evolucionó en respuesta a un agente selectivo específico [Futuyma, 1998, p.354].

Según esta definición, para que un carácter sea considerado adaptación, se requiere hacer una inferencia acerca de su historia, es decir, acerca de cómo llegó a su función específica presente: Un carácter se considera adaptación cuando evoluciona por selección natural, y no cuando es el producto de su historia filogenética⁴¹; Por ejemplo: la ausencia de alas en

⁴¹ **Filogenia:** es la historia de la descendencia de un grupo de taxones (por ej. el ancestro común de varias especies), incluyendo el orden de las ramificaciones y a veces la edad absoluta de las divergencias. Los taxones son “cada una de las subdivisiones de la clasificación biológica, desde la especie, que se toma como unidad, hasta el filo o tipo de organización” [Futuyma, 1998, *Glossary*; RAE].

las pulgas, cuyos ancestros sí tuvieron alas, es una adaptación (porque es un rasgo producto de la evolución por selección), pero la ausencia de alas en las “lepismas” (*bristletails*) no lo es (porque es un rasgo que no evolucionó). Las lepismas carecen de alas desde su origen, ninguno de sus ancestros tuvo nunca alas. Darwin notó claramente que un carácter puede ser benéfico sin haber evolucionado por selección natural, por lo que según esta definición, tal carácter no sería considerado adaptación.

Otro ejemplo: La ausencia de pétalos en “la flor de pascua” (*poinsettia*) —cuyas hojas están modificadas y funcionan atrayendo polinizadores— no es un rasgo adaptativo, sino una característica primitiva de su género *Euphorbia*. Es decir, la pérdida original de pétalos en este género sí pudo haber sido adaptativa, pero en la flor de pascua la ausencia de pétalos no se considera adaptación porque quizá, aún siendo útiles, una re-evolución de pétalos podría estar siendo constreñida (*constrained*)⁴². Por lo tanto, según esta definición histórica de adaptación, antes de afirmar que un carácter es adaptativo por su función actual, es acertado cuestionarse sobre cuál fue la condición de su ancestro y si evolucionó por causa de la selección natural.

[Futuyma, 1998, pp.354, 355]

Concluyendo sobre el término adaptación:

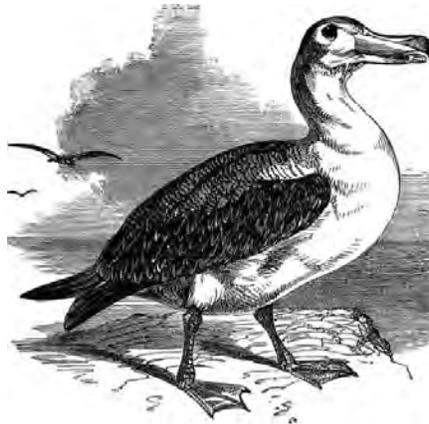
Para Futuyma [1998], quizá no haya una definición para el término adaptación que satisfaga a todos, sin embargo, para los propósitos de esta Tesis, se concluye que: Un carácter es una adaptación “para” alguna función, si se ha hecho prevalente o si es

⁴² Dado que los caracteres evolucionan de caracteres pre-existentes, las características que pueden evolucionar de una especie dependen fuertemente de la posición filogenética y la historia de esa especie, y estas potencialidades difieren mucho entre linajes. Cinco dedos de los pies probablemente no son una opción evolutiva para las aves debido a las «**constricciones genéticas del desarrollo**».

mantenida en una población (o especie, o clado⁴³) por selección natural para esa función [Futuyma, 1998, p.355].

Dos casos de adaptación

(1)



Los grandes albatros de las aguas del Océano Sur tienen sólo una cría cada dos años y no entran en edad reproductiva sino hasta que cumplen de 7 a 9 años de edad. ¿Cómo es que la selección natural pudo haber conducido a esta reducción de fertilidad?

Se ha encontrado que sólo las aves más capaces y experimentadas pueden encontrar suficiente comida para alimentar a sus crías en esta zona de incesantes y poderosas tormentas. Por otro lado, tienen la ventaja de ser capaces de establecer colonias de crianza en islas libres de depredadores y competidores importantes. Por todo esto, la demora de la edad reproductiva y la reducción del número de crías resultaron ser ventajas selectivas.

[Mayr, 2001, p.151]

⁴³ **Clado:** Es un conjunto de especies que descendió de una especie ancestral particular [Futuyma, 2009, *Glossary*]

(2)



Los Pingüinos Emperadores cortejan y ponen su único huevo al inicio o en medio del invierno Antártico bajo las condiciones más adversas, entre intensas tormentas de nieve. La ventaja de este ciclo de reproducción es que las crías salen del huevo al inicio de la primavera del sur y son criadas durante el verano del sur, cuando las condiciones son óptimas para la sobrevivencia y el desarrollo.

La drástica reducción de fertilidad en los albatros y los pingüinos es compensada con un incremento en la longevidad de los adultos y con la ausencia de depredadores en las colonias de crianza que se ubican en islas o en el hielo Antártico.

[Mayr, 2001, p.151]

¿Qué es una preadaptación?:

Según Futuyma, [1998], una preadaptación es un carácter que casual o fortuitamente cumple una nueva función. Por ejemplo, los loros tienen picos fuertes y afilados que usan para alimentarse de frutos y semillas. Cuando los borregos domesticados fueron introducidos a Nueva Zelanda, fueron atacados por los loros nativos —loros de montaña *Nestor notabilis*—, los cuales fueron capaces de perforar la piel de los borregos para alimentarse de su grasa. El pico de los loros de montaña fue

casualmente adecuado para una nueva función, por lo que puede ser considerado una preadaptación para cortar la piel. Es decir, por casualidad, sin que su pico se anticipara evolutivamente a perforar carne (variación—selección natural), esta ave —que previamente comía fruta y semillas— fue más capaz de adoptar un hábito carnívoro, en vez de, por ejemplo, un colibrí, cuyo pico no puede penetrar la piel.

Para Stephen Jay Gould y para Elisabeth Vrba [1982], una adaptación es un carácter que evoluciona por selección natural “para” su función presente, sin embargo, se requiere un término diferente para caracteres que —como el pico del loro de montaña— no evolucionaron “para” la función que tienen en la actualidad. Ellos sugirieron que los caracteres que evolucionaron “para” otras funciones o para ninguna función, pero que han sido cooptados⁴⁴ para un nuevo uso, deben llamarse «exaptaciones».

[Futuyma, 1998, p.355]

Algunos caracteres de los organismos **no son adaptaciones**, por ejemplo:

- 1) Cuando son consecuencia necesaria de la física y la química. Por ejemplo, los peces voladores (*Exocoetidae*) saltan al exterior para escapar de sus depredadores y después planean una distancia antes caer al agua. Un pez volador no podría vivir indefinidamente en el aire, pero su retorno al agua no es una adaptación “para” respirar, es un simple efecto de la gravedad. Aún así, la conducta de abandonar el agua, y el largo tamaño de sus aletas pectorales — que le permiten planear—, son probablemente adaptaciones para escapar de los depredadores [Futuyma, 1998, p.355].
- 2) Cuando evolucionan por azar debido a la deriva génica y no por selección natural. Por ejemplo, el complejo patrón de color críptico de los polluelos urogallos (*grouse chicks*) es probablemente una adaptación para evadir a los depredadores; Pero los patrones de sus diferentes especies, quizá todos

⁴⁴ **Cooptar**: “Llenar las vacantes que se producen en el seno de una corporación mediante el voto de los integrantes de ella” [RAE].

igualmente crípticos, podrían haber divergido por deriva génica [Futuyma, 1998, p.355, 356].

- 3) Cuando pudieron haber evolucionado, no por conferir una ventaja adaptativa, sino por estar correlacionados con adaptaciones. En la pleiotropía hay un efecto fenotípico de un gen en múltiples caracteres. Por ejemplo, el que las especies pequeñas de ciervos tengan cornamentas más pequeñas que las de los ciervos grandes, puede ser debido a las respuestas extensas del organismo a las hormonas y a otros factores promotores del crecimiento, y no debido a una ventaja adaptativa per se [Futuyma, 1998, p.356].
- 4) Cuando son consecuencia de la historia filogenética de la especie. Por ejemplo, las frutas muy grandes de muchos árboles tropicales de hoy parecen ser adaptaciones funcionaban “para” que los mamíferos grandes que se extinguieron en el Pleistoceno, dispersaran sus semillas [Janzen y Martin, 1982, citado en Futuyma, 1998, p.356].

Cómo reconocer las adaptaciones:

- Por su complejidad: Aún si no se puede suponer inmediatamente la función de un carácter, se sospecha frecuentemente que es una función adaptativa si es compleja, la complejidad no puede evolucionar si no es por selección natural. Por ejemplo, la complejidad histológica del sistema lineal lateral de los peces, y su uniformidad dentro de muchos clados, implica —para los fisiólogos— que tiene una función adaptativa; Después de extensivos estudios los fisiólogos probaron que funciona “para” sentir las diferencias en la presión del agua [Futuyma, 1998, p.356].
- Por su diseño: La función de una estructura morfológica es frecuentemente inferida a partir de su correspondencia con el diseño que un ingeniero puede utilizar para lograr alguna meta, tal como la locomoción, la disipación, la retención, y el calor; De hecho muchas estructuras son análogas a los diseños

de implementos humanos. Por ejemplo, entre especies relacionadas o entre poblaciones de la misma especie —de mamíferos y aves—, aquellas que habitan en ambientes fríos frecuentemente tienen el cuerpo de tamaño grande (regla de Bergmann), y los oídos y las piernas cortas (regla de Allen); Ambas características reducen la superficie del cuerpo en relación a su masa, lo que provoca poca pérdida de calor [Futuyma, 1998, p.357].

En estos casos, se debe cuestionar si el carácter evolucionó como una adaptación, o si es un carácter ancestral que puede haber evolucionado por una razón diferente.

- Por experimentos: Los experimentos pueden demostrar que un carácter mejora la sobrevivencia y la reproducción, o mejora la actuación (por ejemplo la locomoción o la defensa) de manera que incrementa la adecuación (*fitness*), en relación a individuos en los que el carácter está modificado o ausente [Futuyma, 1998, p.358].
- Por el método comparativo: Una manera poderosa de inferir el significado adaptativo de un carácter es mediante el método comparativo, el cual toma ventaja de “los experimentos evolutivos naturales” proporcionados por la evolución convergente. Si un carácter evoluciona de manera independiente en varios linajes por una presión selectiva similar, entonces está correlacionado —entre linajes— con esa presión selectiva. Por lo tanto, frecuentemente podemos inferir la función de un carácter determinando factores selectivos ecológicos u otros con los que este esté correlacionado, o a la inversa, predecir la correlación postulando, tal vez en la base del modelo, el carácter evolutivo que se esperaría evolucionara en respuesta a un factor selectivo dado. Por ejemplo, la evolución independiente de el tamaño corporal grande en las poblaciones de muchas especies de mamíferos del norte, es una adaptación a las bajas temperaturas; La manera de deducirlo es por principios fisiológicos y físicos [Futuyma, 1998, p.359].

1.5 ESPECIACIÓN

Este subcapítulo trata de “ESPECIACIÓN”, uno de los cinco conceptos que, según la autora de esta tesis, conforman la teoría de la selección natural (los cimientos de la teoría de la evolución según Gould):

El estudio de las especies y la especiación constituye un puente entre la microevolución y la macroevolución:

Microevolución	Macroevolución
Sucedo por debajo del nivel de especie → poblaciones	Sucedo por encima del nivel de especie, en los taxos superiores → diversificación (ramificación o multiplicación de linajes: <i>cladogénesis</i>)

En el gran árbol filogenético de la vida, los puntos en donde se inicia una ramificación son **eventos de especiación**: el origen de dos o más **especies** a partir de una sola.

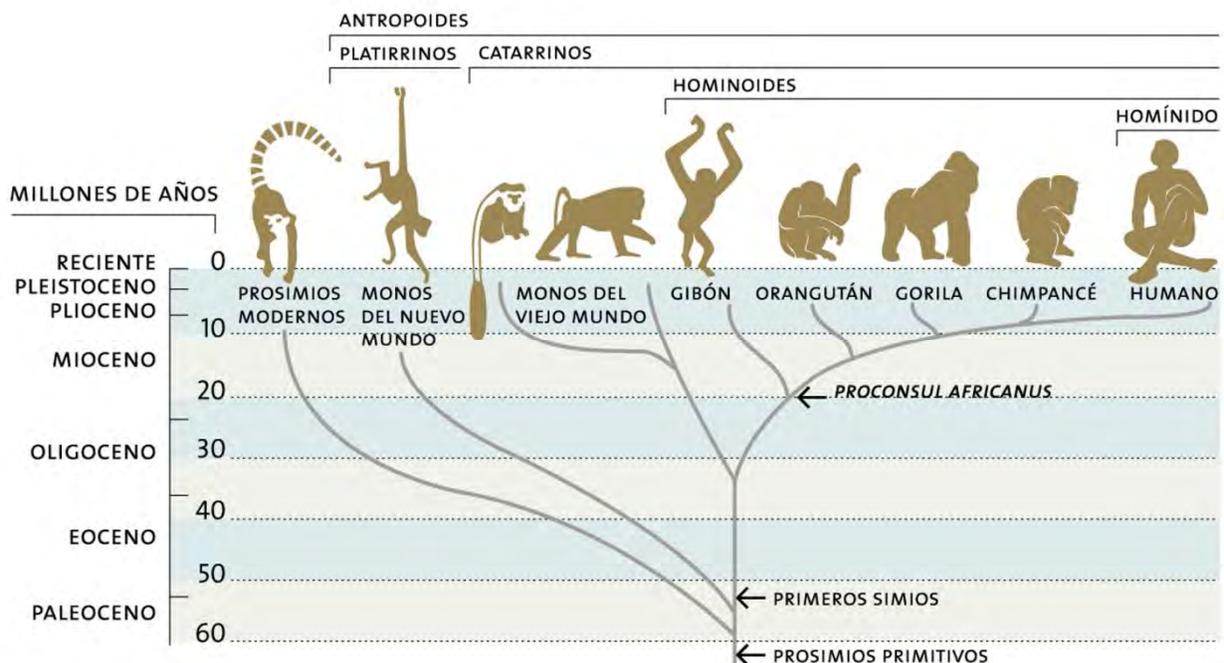


Fig.4 Árbol filogenético de los primates

[<http://www.educ.ar>]

En la especiación recae el origen de la diversidad.

[Futuyma, 1998, p.447]

¿Qué es una especie?:

- Se han propuesto muchas definiciones para el concepto de especie [Futuyma, 1998, pp.447, 448].
- Sin embargo, las definiciones en general, por ser acuerdos (convenios) entre especialistas, no son verdaderas ni falsas [Futuyma, 1998, pp.447, 448]. “No hay un concepto de especie de aplicación y aceptación universales” [<http://evolucion.fcien.edu.uy>].
- En vez de eso, una definición puede ser más o menos útil, o puede ser más o menos exitosa al caracterizar con precisión un concepto [Futuyma, 1998, pp.447, 448].
- “Pese a su importante papel, no existe un concepto de especie exento de dificultades. Cada concepto está ligado a una idea de cómo ocurre el proceso de especiación” [<http://evolucion.fcien.edu.uy>]
- Los conceptos encuentran dificultades porque la realidad biológica es compleja y no hay puntos de corte claros en los casos difíciles (de la variación)” [<http://evolucion.fcien.edu.uy>]. Para muchos autores, entre ellos Darwin, “las especies” son constructos arbitrarios impuestos por la mente humana sobre la continuidad de la variación [Futuyma, 1998, pp.447, 448].

El concepto biológico de especie:

Evidencias con las que los biólogos de principios del siglo XX descartaron el concepto tipológico de especie⁴⁵ y construyeron el concepto biológico de especie:

- En una población que se entrecruza existe variación. Algunas veces esta variación es cualitativa (discreta→polimorfismos) y otras veces cuantitativa (continua).
- En promedio un carácter (o más) usualmente varía entre poblaciones de localidades geográficas distintas (Éstas diferencias van de ligeras a importantes). Frecuentemente se hallan formas intermedias en donde las poblaciones de localidades distintas se encuentran, lo que provee evidencia de que estas se entrecruzan.
- “Especies hermanas” (*sibling species*): Son dos o más especies que, a primera vista, parecen una sola ya que sus poblaciones son morfológicamente uniformes y habitan el mismo espacio geográfico, sin embargo no se entrecruzan porque son especies distintas. Las diferencias entre especies hermanas se encuentran en la forma de sus genitales, en variaciones ecológicas o conductuales, y muy ligeramente en su morfología.

[Futuyma, 1998, p.449]

Según el concepto biológico de especie:

Una especie es una población (o grupo de poblaciones) de individuos variables que intercambian genes por entrecruzamiento, y no se entrecruzan con otras poblaciones debido a diferencias biológicas. (Se debiera recordar: que dos poblaciones estén

⁴⁵ **Concepto tipológico que especie:** Las especies son grupos de organismos asignables a “tipos” fijos o esencias en la naturaleza. La variación es el “ruido” [<http://evolucion.fcien.edu.uy>].

aisladas físicamente entre sí debido a distribuciones geográficas distintas no significa que sean dos especies diferentes)⁴⁶.

El concepto biológico de especie fue promulgado por Dobzhansky, Muller, y Mayr. Este último fue el principal vocero de este concepto; En 1942, lo definió así:

Las especies son grupos de poblaciones que real o potencialmente se entrecruzan y están aisladas reproductivamente de otros grupos.

Recordar: El concepto biológico de especie aplica para las poblaciones en un estrecho lapso de tiempo.

[Futuyma, 1998, p.450]

¿Por qué los organismos de reproducción sexual se organizan en especies biológicas?:

¿Por qué organismos de reproducción sexual se organizan en especies biológicas?
¿Por qué el mundo vivo no consiste simplemente en individuos independientes, cada uno reproduciéndose con otro, con alguno similar con el que se encuentre?

En el estudio de los animales híbridos se encuentra la respuesta. Los híbridos (particularmente en la retrocruzas genéticas) son frecuentemente inviables o más o menos estériles. Esto es particularmente verdadero para los híbridos de los animales.

La inferioridad e inviabilidad de los híbridos demuestra que los genotipos, estando bien balanceados y siendo sistemas armónicos, tienen que ser muy similares entre sí para entrecruzarse exitosamente (tienen que ser de la misma especie). Si esto no sucede — como en las entrecruzas de diferentes especies—, los cigotos híbridos estarán no

⁴⁶ Si las diferencias entre poblaciones de una misma especie ubicadas en diferentes áreas geográficas son mínimas, a la especie se le llama “especie monotípica”. Por el contrario, si las diferencias entre poblaciones de la misma especie ubicadas en diferentes áreas geográficas son importantes, cada población es considerada una “subespecie”. A una especie que consiste en varias subespecies se le llama “especie politípica” [Mayr, 2001, 165].

balanceados y serán producto de una no armónica combinación de genes parentales resultando en individuos más o menos inviábiles o estériles.

Hasta aquí, el significado de “especie” es demasiado obvio. Los «mecanismos de aislamiento reproductivo» de las especies son dispositivos que sirven para proteger la integridad de los genotipos bien balanceados y armónicos. La organización de los individuos y las poblaciones en especies previene el rompimiento de los genotipos bien balanceados y exitosos, tal como ocurre en las entrecruzas de genotipos ajenos e incompatibles, y por eso previene la producción de híbridos inferiores o estériles. Es así como la integridad de las especies se mantiene por selección natural.

[Mayr, 2001, pp.169, 170]

Limitaciones del concepto biológico de especie (CBE):

- El CBE no se aplica a especies asexuales [Futuyma, 1998, pp.451, 452]
- El CBE no afirma explícitamente si deben llamarse con el mismo nombre (nomenclatura científica) a las poblaciones contemporáneas y a sus ancestros de hace 20 millones de años. El CBE no puede aplicarse a la paleontología, es una de sus limitaciones [*idem*].
- El CBE está construido en términos de poblaciones (“dos poblaciones no se entrecruzan”), no de individuos, y dos individuos de la misma especie pueden ser incapaces de entrecruzarse, por ejemplo, dos machos, o un perro Gran danés y un perro Chihuahua [*idem*].
- El CBE se basa en la regla del entrecruzamiento o intercambio genético en el medio natural, pero no en la fertilidad o en la infertilidad. Por ejemplo, el caballo y el burro —que son especies distintas— se pueden cruzar, pero su descendencia es estéril; Sin embargo, existen muchos casos en los que

diferentes especies son estimuladas o forzadas para cruzarse dentro del zoológico o en el laboratorio (ambientes artificiales) y tienen descendencia total o parcialmente fértil, situación que en el medio natural no sucede porque las especies distintas no se entrecruzan [*idem*].

- El CBE se refiere a poblaciones que real o potencialmente se entrecruzan. La palabra “potencial” causa muchas dificultades o ruido al momento de aplicar el concepto a poblaciones reales, sin embargo, resulta necesario. Por ejemplo: Una población de una especie X está físicamente aislada de otra población de la misma especie. Ambas poblaciones pueden entrecruzarse, pero no lo hacen debido a barreras físicas. Sería absurdo catalogarlas como especies distintas por no entrecruzarse en el medio natural debido a que potencialmente sí pueden hacerlo [*idem*].

Las especies en organismos asexuales:

El equivalente de “especie biológica” en organismos de reproducción sexual, no existe en organismos asexuales como los procariontes (Aunque ojo: la reproducción asexual se da también entre eucariontes como protozoarios y hongos). Comunidades reproductivas tales como biopoblaciones, no existen entre los procariontes, por lo que es totalmente incierto el número de especies que se reconocen. Es más, las eubacterias y las arqueobacteria —que por ser tan diferentes se clasifican en dos dominios distintos— pueden intercambiar genes por transferencia horizontal. En estos casos, el científico se ve forzado a reutilizar el concepto tipológico de especie para identificar especies por su grado de diferencia. A las especies así identificadas se les llama agamospecies (linajes asexuales).

Especiación asexual: Cada individuo que se reproduce asexualmente genera un clon genéticamente idéntico. Cuando una mutación ocurre durante la división celular, se origina un individuo nuevo que también se clona. Debido a la selección natural, muchos paquetes de clones poco exitosos son eliminados, lo cual genera huecos entre los paquetes de clones sobrevivientes. Si los paquetes sobrevivientes son separados unos de otros por huecos muy grandes, dichos paquetes son considerados especies

diversas. La especiación en procariontes, inducida por mutación y por extinción de clones intermedios, es totalmente diferente a la especiación que origina especies biológicas.

[Mayr, 2001, p.173]

El concepto evolutivo de especie:

El concepto biológico de especie aplica para las poblaciones durante estrechos lapsos de tiempo. Sin embargo, para describir la evolución durante periodos prolongados, Simpson propuso el concepto evolutivo de especie (“*evolutionary species concept*”).

Según este concepto:

Una especie evolutiva es un linaje único (secuencia ancestro-descendiente) de poblaciones u organismos que mantienen su identidad de otros linajes, y que tienen sus propias tendencias evolutivas y su propio destino histórico [Wiley, 1978, citado en, Futuyma, 1998, p.448]; es decir, una especie es un linaje que evoluciona separado de todos los demás.

Un linaje único (sin ramificaciones), es decir, una especie evolucionaria, que evolucionó cambios morfológicos importantes puede dividirse —de acuerdo a estos cambios— en varias especies sucesivas o cronoespecies (pero ojo, estas no son distintas especies biológicas).

[Futuyma, 1998, pp.450, 1951]

Al respecto:

Como ya se mencionó, una especie biológica es un grupo de poblaciones que se entrecruzan y que están reproductivamente aisladas de otros grupos. Sin embargo, una comunidad reproductiva (una especie biológica) es diferente de sus ancestros y de sus descendientes, lo que crea confusión. Los paleontólogos comparan poblaciones de un único linaje filético a diferentes tiempos, y frecuentemente consideran estas poblaciones especies distintas por las diferencias que encuentran entre ellas, además

usan la palabra especiación para denominar estos cambios. Sin embargo, los cambios de dimensión temporal no producen un incremento en el número de especies, por lo que es mejor llamarlos evolución filética (*phyletic evolution*). Cuando los evolucionistas modernos hablan de especiación, se refieren a la multiplicación de especies, esto es, a la producción de muchas nuevas especies a partir de una sola especie parental.

[Mayr, 2001, p.176]

¿Qué es especiación?:

En biología moderna, especiación significa: La multiplicación de especies; es decir, la producción de muchas nuevas especies a partir de una sola especie parental [Mayr, 2001, p.176].

La especiación involucra dos procesos [Jiménez, 2007, p.56]:

“1) el origen de diferencias genéticas entre poblaciones de una misma especie, y

2) la diferenciación fenotípica entre ellas” [idem].

“Como se mencionó antes, para que ocurra la diversificación entre organismos, es decir, la especiación, es necesario que se originen barreras reproductivas entre las poblaciones. El tipo de especiación se determina de acuerdo con las circunstancias geográficas que originan las barreras reproductivas” [idem].

“Consideremos que una especie tiene dos poblaciones (*A* y *B*), separadas por barreras geográficas (un río, una montaña o un brazo de mar). Si las barreras reproductivas y, por tanto, la diferenciación genética y fenotípica, ocurren en esa situación, el proceso de especiación se denomina alopátrico (que significa “en distintos sitios o patrias”)” [idem].

“Por el contrario, si la formación de la barrera reproductiva se origina cuando las poblaciones *A* y *B* comparten al menos una fracción de hábitat, el proceso se denomina simpátrico (“en el mismo sitio o patria”)” [idem].

“Un modelo intermedio a los anteriores, denominado parapátrico (que significa “al lado de”) indica que A y B son contiguas” [idem].

Evolución filética vs. Especiación

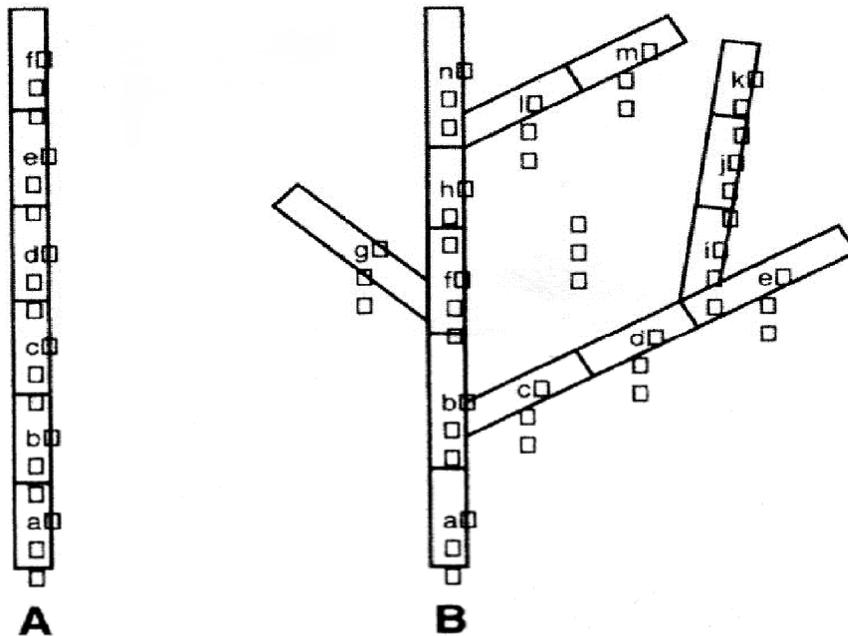


Fig.5 Evolución filética vs. Especiación.

En A (evolución filética), después de muchos miles o millones de años, la especie *a* ha evolucionado en la especie *f*, pero esta sigue siendo una única especie. En B (especiación), la especie *a* ha dado origen a cinco especies descendientes (*g*, *m*, *n*, *k*, *e*) por un proceso de multiplicación de especies.

[Mayr, 2001, p.177]

Especiación alopátrica:

No todas las poblaciones de un taxón (la misma especie) están contiguas e intercambiando genes. De hecho, algunas poblaciones están aisladas geográficamente unas de otras por barreras formadas de agua, montañas, desiertos, u otros tipos de terrenos inadecuados para la especie. Estas barreras incomunicantes reducen o previenen el flujo génico entre poblaciones (de reproducción sexual) y les permiten

evolucionar independientes unas de otras. Estas poblaciones evolucionando en aislamiento son llamadas especies incipientes [Mayr, 2001, pp.177, 178].

¿Qué pasa con estas poblaciones aisladas?:

Conforme pasa el tiempo, en cada población aislada tienen lugar numerosos procesos genéticos cuyos resultados se distinguen debido a la separación genética. Pueden haber nuevas mutaciones; ciertos genes pueden perderse por deriva génica; la recombinación genética puede producir una diversidad de fenotipos que son diferentes a los de la especie parental; y además puede haber inmigración ocasional de nuevos genes de otras poblaciones. Más importante, las poblaciones aisladas viven en ambientes bióticos y físicos diferentes a los de la especie parental y por lo tanto, están expuestas a distintas presiones de selección. A pesar de la acción continua de la selección normalizadora, las poblaciones aisladas serán reestructuradas genéticamente de forma gradual y se incrementará la divergencia de la especie parental. Si este proceso se extiende temporalmente lo suficiente, las poblaciones aisladas eventualmente serán tan diferentes genéticamente, que se considerarán distintas especies. Durante este proceso los individuos de la población adquirirán nuevos mecanismos de aislamiento reproductivo que les impedirán entrecruzarse con las demás poblaciones de la especie parental si es que las barreras llegaran a destruirse [*idem*].

Mecanismos de aislamiento reproductivo:

Los «mecanismos de aislamiento reproductivo» son propiedades biológicas de un organismo individual que previenen el entrecruzamiento de las poblaciones de diferentes especies en las regiones en donde son «simpátricas».

Existen diferentes formas de clasificar los mecanismos de aislamiento. Aquí se presenta la clasificación de Mayr [2001]:

Clasificación de los mecanismos de aislamiento reproductivo

1. Mecanismos pre-apareamiento o pre-cigóticos: Mecanismos que previenen los apareamientos interespecíficos.
a) Los no encuentros previenen los apareamientos potenciales (aislamientos estacionales y de hábitat)
b) Las incompatibilidades conductuales previenen el apareamiento (aislamiento conductual)
c) Intentos de cópula, pero el apareamiento se previene sin que haya transferencia de esperma (aislamiento mecánico)
2. Mecanismos post-apareamiento o post-cigóticos. Mecanismos que reducen por completo el éxito de las cruzas interespecíficas.
a) La transferencia de esperma se lleva a cabo, pero el huevo no es fertilizado (incompatibilidad de gametos)
b) El huevo es fertilizado pero el cigoto muere (mortalidad del cigoto)
c) El cigoto se desarrolla en un híbrido F1 de viabilidad reducida (inviabilidad del híbrido)
d) El híbrido F1 es completamente viable, pero parcial o completamente estéril, o produce una F2 deficiente (esterilidad del híbrido)

[Mayr, 2001, p.171

Cuando todo lo anterior sucede, las especies incipientes son reconocidas como neoespecies. Este proceso se llama especiación geográfica o alopátrica. “La especiación alopátrica puede ser resultado de cambios aleatorios en la estructura genética de las poblaciones, o bien, y quizá más frecuentemente, producto de la adaptación de las poblaciones a distintas condiciones ambientales” [Jiménez, 2007, pp.57]

¿Cuál es el destino de tantas especies incipientes que se están formando todo el tiempo?

Muchas de estas se reúnen de nuevo con la especie parental antes de alcanzar el nivel de especie o también se extinguen. Sólo una pequeña fracción de todas las especies incipientes completa el proceso de especiación [Mayr, 2001, pp.178].

Existen dos procesos de especiación alopátrica

Especiación dicopátrica	Especiación peripátrica
<p>En la especiación dicopátrica el aislamiento es causado por el surgimiento de una barrera geográfica entre dos porciones de una especie previamente contiguas.</p> <p>Por ejemplo, la inundación del Estrecho de Bering al final del Pleistoceno produjo una barrera marina entre Siberia y Alaska, lo que inició una divergencia en las poblaciones holárticas anteriormente contiguas y ahora separadas en dos porciones.</p> <p style="text-align: right;">[Mayr, 2001, p.178]</p>	<p>En la especiación peripátrica el aislamiento es causado por el establecimiento de una población fundadora más allá de la periferia del rango de la especie. Esta población fundadora se aísla del cuerpo principal de la especie por un terreno no apto y puede evolucionar de forma independiente.</p> <p>La importancia de la especiación peripátrica radica en el hecho de que la población fundadora es pequeña y genéticamente empobrecida, ya que es fundada por una única hembra fertilizada o por sólo unos pocos individuos. El acervo genético (<i>gene pool</i>) de la nueva población es estadísticamente diferente al acervo genético parental y puede facilitar la reestructuración del genotipo, particularmente el establecimiento de nuevas interacciones epistáticas⁴⁷ o intergenéticas.</p> <p>La población fundadora está también expuesta al incremento de la presión de selección de un ambiente biótico y abiótico completamente nuevo.</p> <p>Por lo tanto, las poblaciones fundadoras están</p>

⁴⁷ **Epistasis:** Tipo de interacción entre genes situados en distintos loci en un mismo cromosoma que consiste en que cada gen puede enmascarar o suprimir la expresión del otro. El efecto epistático, que es no alélico y por tanto opuesto a la relación de dominancia, puede ser debido a la presencia de factores recesivos homocigóticos en un par de genes o de un alelo dominante que se contrapone a la expresión de otro gen dominante.

en una situación potencialmente ideal para llevar a cabo salidas evolutivas en nuevos nichos y zonas adaptativas [Mayr, 1954, citado en Mayr, 2001, pp.179]. Sin embargo, al mismo tiempo, estas son excepcionalmente vulnerables a la extinción y al factor conservativo del flujo génico, por esto, el aislamiento tiene que ser esencialmente completo para permitir el desarrollo de una nueva especie.

[Mayr, 2001, p.179, 180]

A. Especiación dicopátrica (secundaria)



B. Especiación parapátrica (primaria)



Fig.6 Dos formas de especiación alopátrica:

1. Especiación dicopátrica (especiación secundaria)
2. Especiación peripátrica (especiación primaria)

[Se tradujo de Mayr, 2001, p.179]

Especiación simpátrica:

Un sólo hábitat puede ser muy variable o heterogéneo; es decir, un bosque tiene sitios sombríos al nivel del suelo en donde no penetra el sol debido a las copas de los árboles, y sitios muy luminosos en claros en donde, por ejemplo, se ha caído un árbol. En un bosque, existen organismos llamados “tolerantes a la sombra” que sólo pueden vivir en la umbría del bosque, también existen abundantes organismos llamados “pioneros” que sólo pueden crecer en los claros que reciben alta radiación lumínica.

“¿Por qué existen tantas especies pioneras si una sola o unas pocas podrían cumplir con el papel ecológico de colonizar los claros?” La respuesta es debido a la especiación simpátrica

“Debido a que la diferenciación de las poblaciones ocurre en el mismo sitio, existe el potencial para entrecruzarse con miembros de otra población en el mismo bosque. Si ocurre la diferenciación, el proceso de especiación será el simpátrico. Este modelo no requiere aislamiento geográfico entre las poblaciones como el alopátrico; por ello, es difícil de explicar cómo ocurre y qué factores facilitan su aparición. Uno de los factores fundamentales que favorece la diferenciación de las poblaciones en simpatría es la heterogeneidad ambiental a pequeña escala” [Jiménez, 2007, p.58]

Por ejemplo:

Las moscas de la fruta del género *Rhagoletis* familia *Tephritidae* buscan un árbol frutal para copular y las hembras depositan sus huevos en los frutos en desarrollo. “Una vez que eclosionan las larvas, consumen la pulpa de la fruta” (que usualmente son de las especies de la familia *Rosaceae*: duraznos, cerezas, peras, capulines, ciruelos, chabacanos, tejocotes y manzanos). “Cuando llegan a la fase de pupa o crisálida, entran en una etapa de latencia y emergen como adultos en la siguiente primavera, cuando se reproducen para continuar con su ciclo de vida”.

“En Estados Unidos, *Rhagoletis* deposita sus huevecillos en especies del género *Crataegus* (al cual pertenecen los tejocotes), a las que se denomina plantas hospederas. Sin embargo, en el siglo XVIII se introdujeron los manzanos de Europa,

así que las rosáceas nativas fueron eliminadas de muchos sitios y en su lugar se plantaron manzanos. Las moscas *Rhagoletis* constituyen actualmente una plaga en huertos de manzanos, cerezas y peras. Hoy día también es posible apreciar que existen poblaciones de *Rhagoletis* adaptadas a usar como plantas huésped especies como el manzano, que antes no existían en esos sitios. Los machos esperan en estos frutos para copular con las hembras y éstas ponen sus huevos en la pulpa. De esta forma, la selección natural ha favorecido que las moscas que crecen en los tejocotes se reproduzcan en tejocotes, y las que crecieron en manzanos, se reproduzcan sólo en manzanos. Este fenómeno se denomina especiación por cambio de hospedero y produce también adaptación local. Aunque entre ambas poblaciones existe la posibilidad de entrecruzamiento, esto no ocurre, puesto que entre ellas ya hay una diferencia en sus frecuencias alélicas y porque sus ciclos de vida varían: las moscas de los manzanos se desarrollan en 40 días mientras que las de los tejocotes entre 55 y 60 días. Así esta diferencia constituye una barrera reproductiva que favorece la divergencia”.

[Jiménez, 2007, p.58]

Recordar: La especiación simpátrica no ocurre en mamíferos ni en aves [Mayr, 2001, p.180].

CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO. OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS Y CONCEPCIONES ALTERNATIVAS DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

Este capítulo es el marco teórico relativo a la didáctica de la biología, específicamente sobre las concepciones alternativas y los obstáculos epistemológicos. Comprender estos conceptos en general fue fundamental para el análisis de los libros de texto, ya que este consistió en identificar en estos libros, elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.

“Pese a su importancia en el ámbito biológico, en el contexto educativo, un número significativo de estudios muestra que existe una gran dificultad para que los alumnos comprendan conceptos centrales del neodarwinismo; revelan la existencia de concepciones alternativas que no son válidas desde el punto de vista evolutivo y, aún en estudiantes universitarios, persisten después de la instrucción formal en el tema” [Hernández, Álvarez, y Ruiz, 2009, p.108].

“Estas concepciones alternativas constituyen obstáculos epistemológicos que dificultan la comprensión de uno de los fenómenos más relevantes del estudio de lo vivo: la evolución de las especies a través del tiempo” [Hernández, et al., 2009, p.108].

2.1 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS

El concepto de «obstáculo epistemológico» ocupa un lugar predominante en la teoría de Gaston Bachelard (1884-1962)”. Este concepto y su teoría del conocimiento científico han marcado de manera importante el campo de la filosofía de las ciencias y la pedagogía [R.W. de Camilloni, 2008, p.10].

Bachelard concibe el «conocimiento» como producto de una actividad del sujeto y no como una simple reproducción del mundo de las cosas. “El sujeto es, en consecuencia un constructor de su conocimiento”. De aquí nace la preocupación de Bachelard “por determinar cuáles son las condiciones que favorecen la conformación de un espíritu constructor (sujeto constructor) de conocimiento científico. Entre esas condiciones, se interesa muy particularmente por la educación procurando definir qué tipo de educación científica es la más conveniente a este fin” [*idem*].

La idea central de la obra *La formación del espíritu científico* (de Bachelard) es la de «obstáculos epistemológicos». Para el autor, “Cuando se investigan las condiciones psicológicas del progreso de la ciencia, se llega muy pronto a la convicción de que *hay que plantear el problema del conocimiento científico en términos de obstáculos*”. La idea de «obstáculos epistemológicos» “es esencial en el acto de conocer y, en consecuencia, indispensable para desentrañar la naturaleza de los procesos que caracterizan tanto la historia del conocimiento de la humanidad (como) la historia de la conquista de cada ser humano. Sólo mediante el empleo de esta herramienta conceptual —la de «obstáculos epistemológicos»— es posible comprender las causas de las dificultades, de los estancamientos y, aun, de los retrocesos en los procesos de construcción del conocimiento científico” [*idem*].

Definición de obstáculo epistemológico

Según Bachelard:	Según Astolfi:	Según González:
<p>Hombre de ciencia y alumno nunca parten de cero conocimiento. Viven en el marco de un horizonte cultural y sus conceptos y teorías son subsidiarios de la cultura de su sociedad. Tienen ya opinión sobre los asuntos de que trata la ciencia antes de ponerse en contacto con ella o, después de aprender una teoría, cuando se enfrentan a una nueva concepción que aparece como alternativa o superadora de la anterior” [R.W. de Camilloni, 2008, p.12].</p> <p>Este conocimiento —opinión, conocimiento vulgar, o creencia— “permite lograr, en la mayoría de las circunstancias, una adecuada adaptación a la satisfacción de las necesidades del sujeto porque este funda los conocimientos en su utilidad”. Es decir, “es por una necesidad funcional que se presentan lentitudes,</p>	<p>“El obstáculo es una forma de conocimiento, decía Bachelard”.</p> <p>“Los obstáculos más resistentes no son necesariamente dificultades, sino más bien, y muy a menudo, <i>facilidades que otorga la mente</i> para pensar los fenómenos” [Astolfi, 1998, p.158].</p> <p>“Cuando el pensamiento encuentra una dificultad, éste es por lo general sensible a aquello con lo que “tropezaba” y que lo frena y lo detiene. El obstáculo corresponde, al contrario, a un Funcionamiento económico del cerebro que pone en juego un sistema de explicación rústico y sencillo, por cierto, pero inmediatamente disponible y “cómodo” para el sujeto” [Astolfi, 1998, pp.158, 159].</p> <p>Según Astolfi, debido a la resistencia de los obstáculos, “no podemos esperar</p>	<p>“El concepto de obstáculo de la didáctica de las ciencias está “inspirado” en la obra de Bachelard pero tiene connotaciones significativamente distintas. A pesar de la gran importancia que se le da en la didáctica actual (especialmente entre los didactas franceses), la literatura especializada no ofrece una definición única y precisa de este concepto. Así, si se analiza la obra del didacta francés Jean Pierre Astolfi, uno de los principales autores que han trabajado sobre este concepto, se encuentra que utiliza el término “obstáculo” de diferentes modos, asignándole, de un modo más o menos explícito según el caso, distintos significados. Por este motivo, es necesario precisar un significado” [González, 2011, p.177]:</p> <p>“Un obstáculo es un modo</p>

Según Bachelard:	Según Astolfi:	Según González:
<p>perturbaciones y regresiones. Se observa así que el obstáculo epistemológico es lo que se sabe y que, como ya se sabe, genera una inercia que dificulta el proceso de construcción de un saber nuevo que es, precisamente, lo que constituye el acto de conocer” [R.W. de Camilloni, 2008, p.12].</p> <p>En el origen de los obstáculos epistemológicos “se encuentran diversos componentes de naturaleza social e individual: deseos, búsqueda de seguridad, experiencias personales, mitos. De allí la resistencia a desprenderse de esos conocimientos y a reemplazarlos por otros [R.W. de Camilloni, 2008, pp.12, 13].</p> <p>Para Bachelard es necesaria una ruptura con el obstáculo epistemológico —enemigo del conocimiento científico—. “Es este sin duda, un trayecto difícil de recorrer e, incluso,</p>	<p>superarlos con el sencillo aporte magistral de un saber científico “verdadero”. A decir verdad, un obstáculo epistemológico no se resuelve nunca definitivamente, pues siempre puede volver a surgir en una determinada situación, con una forma u otra. El objetivo último del trabajo didáctico no es la superación del obstáculo, como esperamos siempre de alguna manera, sino más bien su identificación como tal por parte del alumno, y el control vigilante que ejercerá a partir de entonces sobre el mismo [Astolfi, 1998, p.165].</p>	<p>de pensamiento, <i>transversal</i> y <i>funcional</i>, que compite, desde el punto de vista explicativo, con el modelo científico a enseñar “.</p> <p>“La <i>transversalidad</i> de los obstáculos ha sido destacada por Astolfi al analizar la relación entre los obstáculos y las concepciones (1994) y entre los obstáculos y los errores (1999). En el primer caso, señala que las concepciones aparecen ligadas a un contexto de conocimiento particular.</p> <p>Comparativamente, los obstáculos son más generales y transversales que las concepciones. Esto implica que un único obstáculo puede subyacer a varias concepciones y que, inversamente, distintos obstáculos pueden converger en una concepción</p> <p>Respecto a la <i>funcionalidad</i>: “Es justamente el hecho de que estos modos de</p>

Según Bachelard:	Según Astolfi:	Según González:
<p>doloroso porque implica la pérdida de lo que ya se sabe, ya que hay que retornar de un pasado de errores” [R.W. de Camilloni, 2008, p.13].</p> <p>“El espíritu científico (o sujeto científico) debe formarse reformándose, contradiciéndose, contradiciendo al maestro (...)”. Para que un saber “esté en condiciones de recuperar su cientificidad, es necesario que hombre de ciencia y alumno acepten que ese saber pase de ser cerrado y estático a ser abierto y dinámico, es decir, que el saber se piense como pasible de cambios. (...) “No hay ciencia sino mediante una escuela permanente”” [R.W. de Camilloni, 2008, pp.13 y 14].</p> <p>Así, “La educación científica se presenta como una ardua tarea, en la que no es suficiente pensar qué es lo que el alumno debe aprender sino, también, qué y cómo debe desaprender lo que ya sabía” [R.W. de Camilloni, 2008,</p>		<p>pensamiento cumplan una función en el esquema de pensamiento del sujeto lo que explica la fuerte resistencia al cambio, la dificultad para la superación de los obstáculos”.</p> <p>[González, 2011, pp.177, 181, 183, 186]</p>

Según Bachelard:	Según Astolfi:	Según González:
p.14]		

Según Astolfi [1998], Las 6 características principales de los obstáculos epistemológicos son:

“su positividad”:	“el obstáculo no es ignorancia, ni un bloqueo psicológico, sino implica una “saturación” de conocimientos previos, inmediatamente movilizados equivocadamente por la mente. Es un tejido de errores contruidos, positivos, arraigados, solidarios”.
“su facilidad”:	“el obstáculo es una facilidad que se concede la mente para seguir razonando de manera sencilla”
“su interioridad”:	“el obstáculo no es aquello contra lo cual vendría a “tropezar” el pensamiento, sino que está en el pensamiento mismo, en las palabras, en la experiencia cotidiana, en el inconsciente... El error ocupa el centro mismo del acto de conocer y es la sombra proyectada de la razón, hasta el punto de que no se puede soñar con un aprendizaje sin obstáculo”.
“su ambigüedad”:	son “modos de pensamiento legítimos (que) se utilizan para la resolución de un tipo de problemas para los que no se adecúan. Lo que constituye un obstáculo es el uso ilegítimo, fuera de los límites de validez, de un determinado sistema cognitivo, que por lo demás también tiene sus virtudes”.
“su polimorfismo”:	“el carácter proteiforme del obstáculo lo lleva a dimensiones y adherencias múltiples, pues no se limita al campo racional, sino que a menudo extiende ramificaciones hacia los planos afectivo, emocional, fantasmático, mítico...”
“su recursividad”:	“sólo retrospectivamente el obstáculo se presenta como lo que es. Es el pasado de la razón, cuando ésta se vuelve sobre sí misma para juzgarse”.

[Astolfi, 1998, p.159]

¿Cuáles son los tipos de obstáculos epistemológicos?:

Según Bachelard:	
<p>“La experiencia básica o conocimientos previos”</p>	<p>“Los individuos antes de iniciar cualquier estudio, tienen ya un conjunto de ideas muy propias acerca de cómo y por qué las cosas son como son. (...) Esto carga de subjetividad las observaciones y se pueden tener concepciones erróneas, ya que las cosas se ven tal como nosotros queremos verlas y no como realmente son. (...) La persona observa el hecho o el objeto, y trata de describirlo objetivamente, pero en este intento, tiende a relacionar la descripción con lo que ya ha visto, con lo que ya sabe (en su interacción cotidiana con el mundo y con las personas), es decir, con la experiencia previa, por lo que comete errores”.</p>
<p>“El conocimiento general”</p>	<p>“Para Bachelard: “Nada ha retardado más el progreso del conocimiento científico que la falsa doctrina de lo general que ha reinado desde Aristóteles a Bacon inclusive, y que aún permanece, para tantos espíritus como una doctrina fundamental del saber”.</p> <p>“Al explicar mediante el uso de generalizaciones un concepto, se cae, en la mayoría de las veces, en equivocaciones, porque los conceptos se vuelven vagos, e indefinidos, ya que se dan definiciones demasiado amplias para describir un hecho o fenómeno y se deja de lado aspectos esenciales, los detalles que son los que realmente permiten exponer con claridad y exactitud los caracteres que permiten distinguirlos y conceptuarlos correctamente. (...) Al generalizar el niño sale del paso con una explicación sencilla que la aplica a toda una definición, de una forma resumida y concreta. Se dejan detalles de lado que son los que realmente le dan sentido a la definición y sobre todo, le dan validez científica”.</p>
<p>“El conocimiento pragmático y utilitario”</p>	<p>“El utilitarismo plantea una serie de problemas a la hora de definir un término, pues existe la tendencia de reducirlo y sintetizarlo de tal manera que se puede explicar o definir un concepto solamente</p>

	<p>mediante la idea de utilidad o beneficio. Para Bachelard: “En todos los fenómenos se busca la utilidad humana, no sólo por la ventaja positiva que pueda procurar sino como principio de explicación [Bachelard, 1976, citado en Mora, 2003, pp.6]. (...) Los niños tienden a darle unidad a los conceptos, y reducen su significado tomando en cuenta sólo un aspecto de la realidad: la relación con los beneficios que generan al medio o a las personas”.</p>
<p>“Obstáculo animista”</p>	<p>“Los niños tienen la tendencia de explicar ciertos fenómenos o definir ciertos conceptos haciendo analogías con la naturaleza animada. Según Bachelard: “Los fenómenos biológicos son los que sirven de medios de explicación de los fenómenos físicos. Esta característica de valorizar el carácter biológico en la descripción de hechos, fenómenos u objetos, representan claramente el carácter animista”.</p>
<p>“Obstáculo verbal”</p>	<p>“se presenta cuando mediante una sola palabra o una sola imagen se quiere explicar un concepto”.</p>

[Mora, 2003, pp.2-8]

<p>Según Astolfi:</p> <p>(“La breve lista que sigue, y que no pretende ser exhaustiva, da una idea de los obstáculos más frecuentes que están en juego tras las representaciones de los conceptos de biología” [Astolfi, 1998, p.158])</p>	
<p>“Primacía de la percepción sobre lo conceptualizado”:</p>	<p>“lo visible, lo brillante, lo animado, las explicaciones por la gravedad (los alimentos y la sangre, que “bajan” por el cuerpo)”.</p>
<p>“Uso del pensamiento por pares que permiten proceder a alternativas binarias simples (0...0)”:</p>	<p>“oposición entre lo viviente y lo no viviente, disyunción entre los gases y los otros estados de la materia...”</p>
<p>“Sobrevaloración de los elementos buenos con relación a otros considerados malos o peligrosos”:</p>	<p>“valorización de los viviente respecto a lo no viviente, desvalorización de los gases (peligrosos) y de la química (artificial)...”</p>
<p>“Reducción de los viviente a lo mecánico y a lo fabricado”</p>	<p>“(tuberías continuas, bomba cardíaca, importancia de los autómatas en la historia de la biología...y, en la actualidad, del modelo de inteligencia artificial, etc.)”.</p>
<p>“Atribución de una intención”</p>	<p>“(finalismo antropomorfismo)”.</p>
<p>“Explicaciones por transformaciones sin trabas, factibles en todos los sentidos”:</p>	<p>“mezcla, de elementos (herencia), “metamorfosis” posible de las especies (monstruos y unicornios que resultan de todo tipo de intermediarios y de ensamblajes)”.</p>

[Astolfi, 1998, p.158]

¿Cómo salvar estos obstáculos?, Según Mora [2003]:

1. Conocer los obstáculos:	“El docente debe tomar conciencia de estos obstáculos y hacerlos saber a sus estudiantes. La detección de estos por parte del maestro constituye entonces el preámbulo indispensable para iniciar el trabajo didáctico. La toma de conciencia por parte de los alumnos de sus propios errores de concepto y de la causa que los origina contribuye a facilitar el proceso de aprendizaje, y aunque este primer paso no basta para producir una superación inmediata, tiene un valor importante en el mismo”.
2. El resquebrajamiento del obstáculo:	“Después de identificar el error y el obstáculo epistemológico que le da origen se produce una desestabilización conceptual, es decir, se da un conflicto sociocognitivo en los estudiantes. Esto hace que haya un proceso inicial de confrontación de ideas dentro de la clase. Luego el maestro estimula a los alumnos para que analicen las divergencias interpretativas acerca del concepto estudiado, para llegar finalmente a una conciliación de las ideas que ellos tienen con respecto al mismo y la definición dada por el docente”.
3. El franqueamiento del obstáculo:	“Una vez que se ha tomado conciencia sobre los errores cometidos y después de una discusión acerca de los mismos, se da el proceso de elaboración de una alternativa conceptual por parte de estudiante. Es necesario disponer de un nuevo lenguaje para definir los conceptos teóricos, se debe tratar de que las explicaciones que dan los niños

	<p>sean cercanas a las explicaciones que están en los textos, pero debe emplearse un léxico sencillo, semejante al que ellos utilizan cotidianamente, de manera que los niños puedan comprenderlo e interiorizarlo y así utilizarlo con más frecuencia. Para que esto ocurra se debe dar una reorganización racional del saber basado en un lenguaje más simple y llano”.</p> <p>“Luego se procede a escribir la definición (en un glosario), la que ha sido construida con la participación de todos los compañeros de clase y el maestro”.</p>
--	--

[Mora, 2003, p.10]

2.2 CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

“El uso e interpretación del término “concepciones alternativas” ha sido ampliamente adoptado y ha ido desplazando a otros términos como “errores conceptuales”, “preconceptos”, “concepciones espontáneas”, “teorías implícitas” y “teorías en acción, por citar los más comunes”.

Las concepciones alternativas “son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales, bien porque esa interpretación es necesaria para la vida cotidiana o porque es requerida para mostrar cierta capacidad de comprensión solicitada a un sujeto por otro —como un profesor— entre pares o por cierta circunstancia específica no cotidiana —por ejemplo, la solución de un problema práctico—. Así, la construcción de las concepciones alternativas se encuentra relacionada con la interpretación de fenómenos naturales y conceptos científicos para brindar explicaciones, descripciones y predicciones” [<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>].

“Las concepciones parecen ligadas a cada contexto de conocimiento particular: sabemos que, para cualquier campo del saber científico enseñado (las fuerzas, la corriente eléctrica, la respiración o la reproducción humana...), los alumnos disponen de ideas previamente construidas —bien identificadas en la actualidad gracias a numerosas investigaciones— y que tienden a perdurar, casi sin sufrir modificaciones, incluso hasta el nivel de la enseñanza superior, a pesar de la importante presión de la enseñanza” [Astolfi, 1994, p.207].

“Estas concepciones, definidas localmente, son muestra de un doble estatuto”

<p>“En primer lugar, presentan el de un <i>alejamiento del saber erudito</i>: si se califica de representación tal o cual respuesta de un alumno a un cuestionario o a una situación-problema, es porque esta respuesta es, en</p>	<p>“Al mismo tiempo, estas representaciones tienen el estatuto de <i>una explicación funcional</i> para el alumno. Son una forma de conocimiento entre otras, puesto que corresponden a un sistema de interpretación</p>
--	--

<p>cierta medida falsa. En este sentido, la concepción representa el <i>contrapunto</i> del proyecto didáctico. El profesor se interesa por ella porque ocupa el mismo «nicho ecológico» que el conocimiento científico cuya adquisición pretende. Desde este punto de vista, la representación se opone al objetivo, ya que es lo que impide conseguirlo fácilmente en clase” [Astolfi, 1994, p.207].</p>	<p>coherente de los fenómenos científicos, construido desde hace tiempo, y que «funciona». Precisamente por esta razón, las concepciones se resisten a la enseñanza y perduran durante toda la escolaridad. Desde este punto de vista, la representación ya no es lo que se opone al objetivo, sino que <i>se sitúa en el mismo centro del objetivo que se pretende</i>, ya que su transformación es lo que el profesor va a esforzarse por provocar prioritariamente, además de las definiciones enseñadas relativas al conocimiento [Astolfi, 1994, p.207].</p>
--	---

Desde el punto de vista epistemológico pueden apuntarse algunas consideraciones que, si bien no son una explicación del proceso cognitivo que implica la construcción de las concepciones de los sujetos, permite determinar algunos factores que contribuyen a comprender el origen de las ideas previas:

<p><u>Necesidad:</u></p>	<p>Los sujetos tienen la necesidad “de contar con una forma de interpretación que les permita tener una visión, al menos parcialmente coherente, de la fenomenología más inmediata, esto es, de los eventos naturales con los que están cotidianamente en contacto”.</p>
<p><u>Mecanismo de validación:</u></p>	<p>Los sujetos utilizan comúnmente el mecanismo de validación, el cual consiste en la contrastación simple o directa (comprobación de la exactitud o la autenticidad de algo) y el acuerdo entre pares —otros estudiantes o personas comunes—.</p>
<p><u>Límite de aplicación de las construcciones</u></p>	<p>“las representaciones elaboradas corresponden a unos cuantos fenómenos comunes; sin embargo, si la persona considera que otros fenómenos son de alguna manera semejantes —aunque no lo sean— a los que conoce, extrapola sus representaciones. Si, por el contrario, considera que cierto tipo de</p>

<u>es de los sujetos:</u>	fenómenos no son semejantes —aunque sí lo sean— lleva a cabo otra interpretación y construye ideas previas distintas. Esto lleva a considerar que el contexto es otro factor importante en la construcción de las ideas de los estudiantes (...).
---------------------------	---

[<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>].

Según su origen, las concepciones alternativas se clasifican en:

“Concepciones espontáneas”	<p>“Se forman por las percepciones sensoriales que tienen los niños acerca del mundo que les rodea y de hechos de la vida cotidiana” (Las percepciones sensoriales son los obstáculos epistemológicos).</p> <p>En este caso, “es evidente la influencia de las percepciones sensoriales, las descripciones las realizan los niños con base en sensaciones y dejan de lado la definición científica y el lenguaje empleado por el maestro en la escuela. Al respecto Bachelard afirma: “Las observaciones directas de la naturaleza están cargadas de sensaciones, ya que se perciben con los sentidos, y en apariencia, están llenas de color y son pintorescas” [Bachelard, 1976, citado en, Mora, 2003, pp.3 y 4].</p>
“Concepciones inducidas”	<p>“Son creencias inducidas (causadas) debido a procesos de socialización. Estas concepciones se originan en el entorno familiar, social, y por la influencia de los medios de comunicación” (Los procesos de socialización son los obstáculos epistemológicos).</p>
“Concepciones analógicas”	<p>“Se derivan de las comparaciones que se realizan con hechos de la vida cotidiana, así la comprensión del concepto se basa en la formación de analogías generadas por los propios alumnos en su entorno familiar o en la escuela” (Las comparaciones son los obstáculos epistemológicos).</p>

[Mora, 2003, pp. 3, 4, y 5]

¿Principales características de las concepciones alternativas o ideas previas según el trabajo citado⁴⁸?:

⁴⁸ “El término “concepciones alternativas” es, sin duda una manera adecuada de nombrar las concepciones de los estudiantes, principalmente porque no denota una visión peyorativa del complejo

- “Los estudiantes llegan a las clases de ciencia con un conjunto diverso de las ideas previas relacionadas con fenómenos y conceptos científicos”.
- Son universales, aunque pueden ser matizadas por la manera en que es utilizado el lenguaje, así como por la influencia del contexto y las formas de cuestionamiento con las que se lleva a cabo su averiguación (en cuestionarios y entrevistas académicas).
- “Las ideas previas de los estudiantes se encuentran presentes de manera semejante en diversas edades, género y culturas” (son universales).
- “Son bastante estables y resistentes al cambio” [Mora, 2003, pp.3].
- “Las ideas previas son de carácter implícito, esto es, en la mayoría de los casos los estudiantes no llevan a cabo una “toma de conciencia” de sus ideas y explicaciones”.
- “Las ideas previas que corresponden a conceptos y no a eventos, se encuentran, por lo general, indiferenciadas, es decir, presentan confusiones cuando son aplicadas a situaciones específicas. (Un ejemplo de este caso son las ideas previas en torno a los conceptos de presión y fuerza).
- “Las ideas previas son generadas a partir de procesos donde los cambios son muy evidentes, mientras que los aspectos estáticos pasan usualmente, desapercibidos”.

proceso conceptual que implica construir nociones o concepciones; sin embargo, y dentro de esta misma línea, el trabajo en la red: <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx> denominó “ideas previas” a las concepciones de los estudiantes por ser un término que indica, por un lado, que se refiere a una concepción que no ha sido transformada por la acción escolar y porque es un término fácilmente identificable por los profesores. Además, con este término, se trata de disminuir ciertas ambigüedades que pueden presentarse con el de “concepciones alternativas (...)”. Extraído desde <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>

- “Buena parte de las ideas previas son elaboradas a partir de un razonamiento causal directo, en el cual, el cambio en un efecto es directamente proporcional al cambio en su causa”.
- “Las ideas previas en un mismo alumno pueden ser contradictorias cuando se aplican a contextos diferentes (por ejemplo aire y agua)”.
- “Las ideas previas no se modifican por medio de la enseñanza tradicional de la ciencia”.
- “Las ideas previas guardan ciertas semejanzas con ideas que se han presentado en la historia de la ciencia”.
- “Los orígenes de las ideas previas se encuentran en las experiencias de los sujetos con relación a fenómenos cotidianos, en la correspondencia de interpretación con sus pares y en la enseñanza que se ha recibido en la escuela”.
- “Los profesores, frecuentemente, comparten las ideas previas de los alumnos”.
- “Las ideas previas” interfieren con lo que se enseña en la escuela teniendo como resultado que el aprendizaje sea deficiente, con importante pérdida de coherencia”.
- “Es posible modificar las ideas previas por medio de estrategias orientadas al cambio conceptual”.

[Pozo, 1991; Wandersee, Novak y Mintzes, 1994; Gallegos, 1998, citados en, <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>].

“(…) la caracterización mostrada de las ideas previas permite ubicarlas como elementos esenciales (centrales) en la comprensión de los problemas que presenta el aprendizaje de los conceptos científicos. Las ideas previas constituyen un elemento central en la elaboración de representaciones de los fenómenos, sean observados directamente por los sujetos o procedentes de la descripción que hacen otros” [Extraído <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>].

“Una de las principales consecuencias de la investigación sobre las ideas previas es, que propuso, como meta educativa, su transformación, es decir, se estableció la necesidad de modificar estas ideas como medio para lograr un mejor aprendizaje de los conceptos científicos. El reconocimiento de la necesidad de lograr esas transformaciones o cambios conceptuales en los estudiantes, llevó a no sólo mostrar que las prácticas habituales de enseñanza son ineficaces, sino a transformar los enfoques y las concepciones del aprendizaje de la ciencia” [<http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>].

2.3 RELACIÓN ENTRE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS Y CONCEPCIONES ALTERNATIVAS

- Los «obstáculos epistemológicos» están en el fondo de las «concepciones alternativas» (CA).
- Los «obstáculos epistemológicos» presentan “un carácter más general y transversal que las representaciones (concepciones alternativas), y son ellos los que las explican y las estabilizan en los más profundo, constituyendo así una especie de «punto nodal⁴⁹» de las concepciones.
- Las «concepciones alternativas» parecen ligadas a cada contexto de conocimiento particular. Para cualquier campo del saber científico enseñado existen concepciones particulares.
- “Diversas representaciones (concepciones), relativas a nociones sin vínculo aparente, pueden surgir así en el análisis como puntos de emergencia de un mismo obstáculo”.
- “Inversamente, una representación expresada en un determinado contexto puede comprenderse gracias al juego combinado de varios obstáculos que, en otro contexto, se manifiestan de forma diferente”.
- “El modelo del iceberg permite entender las concepciones como la parte visible en la superficie de un sistema de pensamiento cuyos obstáculos forman la parte sumergida”.
- “El análisis de los obstáculos permite extraer el sentido de las representaciones y construir su interpretación. Sin caracterización satisfactoria de dichos

⁴⁹ **Nodo:** “Cada uno de los puntos que permanecen fijos en un cuerpo vibrante. En una cuerda vibrante son siempre nodos los extremos, y puede haber varios nodos intermedios” [RAE].

obstáculos, las representaciones se reducirían a un simple inventario razonado de las ideas encontradas en los alumnos.

[Astolfi, 1998, 157, 158]

Varias concepciones, un único obstáculo (Ejemplo)

Concepciones alternativas	Obstáculos epistemológicos
<ul style="list-style-type: none"> En ecología, a menudo, “las relaciones alimentarias a lo largo de una cadena trófica son consideradas por los alumnos como <u>depredaciones sucesivas, con englobamiento</u>, como en el caso de las “muñecas rusas”, en lugar de interacciones entre los efectivos de las poblaciones A, B y C. Además este razonamiento afecta más a los individuos que a las poblaciones, de forma que, cuando A es comido por B y éste comido por C, <u>A y B dejan de existir en la cadena alimentaria</u>. ¡Esta concepción hace desaparecer cada especie a medida que es comida! [Astolfi, 1994, p.2009]. Los fenómenos digestivos se conciben a menudo a partir <u>del modelo de una «tubería continua»</u> junto con la excreción, gracias a la concepción de una unión directa entre estómago y vejiga [Clément, 1991, citado en Astolfi, 1994, pp.209]. A esto se añade la idea de que la digestión se reduce a una <u>serie de transformaciones mecánicas</u> [Sauvageot, 1991, citado en, Astolfi, 1994, p.209]. 	<p>“Se puede entender la coherencia —y del mismo modo la resistencia —de un obstáculo de esa índole, que probablemente afecta a una mayoría de adultos cultos, al término de los estudios secundarios. Todo esto vendría a ser una especie de gran juego biológico de «Lego» mediante el cual los elementos de la materia se unen y se fragmentan indefinidamente. Se trata de <u>un modelo que economiza procesos químicos</u> (ya que no se considera que los gases sean materia) así como energéticos. Presenta la ventaja de obedecer a una <i>buena forma</i> satisfactoria para la mente («esto funciona»), y pone en práctica modos de pensar bastante toscos”:</p> <p>“Modos de razonamiento subyacentes a las concepciones alternativas”:</p> <ul style="list-style-type: none"> “<u>una homogeneidad entre los niveles macroscópico y microscópico</u>”; “el uso de <u>razonamiento por categorías</u>, incluso del <u>pensamiento por parejas</u> («o bien...o bien...»): lo vivo/lo no vivo, los gases/los gases no”;

<ul style="list-style-type: none"> • La propia respiración, <u>sólo está relacionada con «los gases» y no está ligada a la nutrición. Se reduce a fenómenos de ventilación concebidos como las «aspiraciones de aire» en las cavidades y orificios respiratorios: el aire simplemente penetraría «porque hay un agujero»</u> [Sauvageot, 1988, citado en, Astolfi, 1994, p.209]. • El cierre de los ciclos biológicos de un ecosistema está igualmente concebido a partir del <u>modelo de la descomposición mecánica del ser vivo en pequeños fragmentos microscópicos, fragmentos de los que se nutren los vegetales que los aspiran con sus raíces como con pajitas para beber. De este modo se abandona la idea de mineralización</u>, de forma que, en lugar de ciclo biológico, habría que hablar más bien de un <u>reciclaje</u>, como el reciclaje, como el reciclaje industrial del cristal [Astolfi et al., 1985, citado en, Astolfi, 1994, p.209]. 	<ul style="list-style-type: none"> • <u>“una concepción demasiado restringida de las transformaciones posibles o, a la inversa (lo que viene a ser lo mismo), la posibilidad de transformaciones generalizadas sin ninguna limitación, siendo posibles las transmutaciones o metamorfosis en todos los sentidos</u> [Canguilhem 1974, Jacob, 1970, citados en, Astolfi, 1994, p.209]. <p>“Los obstáculos así definidos constituyen una especie de «nucleo duro» de las representaciones. Corresponden a lo que se resiste verdaderamente a los aprendizajes y razonamientos científicos. Hacen posible <i>separar el sentido</i> de las representaciones, permitiendo construir su interpretación, porque, sin una caracterización satisfactoria de los obstáculos, las representaciones sólo pueden ser comprendidas en términos de «cartografía estadística», como simples catálogos anómicos⁵⁰ de las ideas encontradas en los alumnos”.</p>
---	---

[Astolfi, 1994, p.209]

⁵⁰ **Anómicos:** Pertenciente o relativo a la anomia. **Anomia:** Conjunto de situaciones que derivan de la carencia de normas sociales o de su degradación [RAE].

Varios obstáculos convergentes. Ejemplo: Noción biológica de medio

Obstáculos epistemológicos

- Obstáculo verbal: “ligado a la polisemia de la palabra *medio*. Superarlo supone acceder a la distinción entre un medio geométrico (medio-centro) y un medio biológico (medio-objeto)”.
- Obstáculo tautológico: “ligado a la comprensión del *medio* de cada especie en términos de «medio natural». Superarlo supone abandonar la idea de que cada animal poseería un “lugar propio”, en el que se encuentra naturalmente bien, gracias a un «equilibrio» de la naturaleza que colmaría sus necesidades. Así pues, la naturaleza estaría bien hecha y equilibrada, ¡y eso es todo!”.
- Obstáculo antropomórfico: “ligado a una concepción del *medio* como «despensa» de las especies, en la que cada una escogería según sus preferencias. Superarlo supone renunciar a considerar al animal como dotado de una libertad de elección, de una voluntad, y centrarse en el análisis de las necesidades alimentarias características de la especie. Sólo en este caso la expresión *régimen alimenticio* se aleja de la acepción corriente («estar a régimen») para adquirir un sentido biológico”.
- Obstáculo holista: “ligado a la dificultad de pasar al análisis. Superarlo supone dejar de considerar el *medio* como un todo indivisible o como una cosa (como el aire, el agua o la tierra). Superarlo es llegar a ser capaz de analizar los componentes o los factores (temperatura, humedad, acidez...). Esto supone abandonar un punto de vista estático y sustancialista por una perspectiva más relacional y abstracta (...). Etcétera”.

[Astolfi, 1994, pp.209, 210]

2.4 OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS Y CONCEPCIONES ALTERNATIVAS SOBRE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

En este subcapítulo se enumeran y explican los obstáculos epistemológicos y las concepciones alternativas sobre la evolución biológica según González [2011]. Para poder hacer una correcta identificación de los elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas, fue fundamental comprender este tema.

“Pese a su importancia en el ámbito biológico, en el contexto educativo, un número significativo de estudios muestra que existe una gran dificultad para que los alumnos comprendan conceptos centrales del neodarwinismo; revelan la existencia de concepciones alternativas que no son válidas desde el punto de vista evolutivo y, aún en estudiantes universitarios, persisten después de la instrucción formal en el tema” [Hernández, Álvarez, y Ruiz, 2009, p.108].

“Estas concepciones alternativas constituyen obstáculos epistemológicos que dificultan la comprensión de uno de los fenómenos más relevantes del estudio de lo vivo: la evolución de las especies a través del tiempo” [Hernández, et al., 2009, p.108].

Según Hernández et al., [2009], “Las principales concepciones alternativas se centran principalmente en ausencias, deficiencias y confusiones sobre el origen y el mantenimiento de las variaciones, la adaptación diferencial y el pensamiento poblacional, que son fundamentales para entender la teoría de la evolución por variación y SN” [Hernández, et al., 2009, p.109].

“Para poder diseñar estrategias de enseñanza que faciliten la transformación de las ideas que chicos y chicas construyen a lo largo de su proceso de aprendizaje en relación con la evolución, es interesante conocer la fuente de dichas dificultades; las razones que subyacen al pensamiento del alumnado y que originan sus concepciones. En parte, parece que estas ideas son inherentes al pensamiento o, por lo menos, a

determinadas formas de procesar lo que ocurre a nuestro alrededor” [Grau y de Manuel, 2002, p.2].

¿Cuáles son los obstáculos epistemológicos y las concepciones alternativas de la evolución biológica?:

Sánchez [2000] realizó una investigación cuyos resultados mostraron que la población mexicana de entre 12 y 20 años tiene dificultad para manejar el tema de la evolución por selección natural. Se identificaron las concepciones alternativas que tienen estos estudiantes y se concluyó que se deben al manejo inadecuado o nulo de los siguientes conceptos: “variación, origen de la variación, influencia del ambiente en los organismos, carácter azaroso de las mutaciones, carácter probabilístico pero no azaroso de la selección natural y de la adaptación en términos evolutivos” [Sánchez, 2000, p.71].

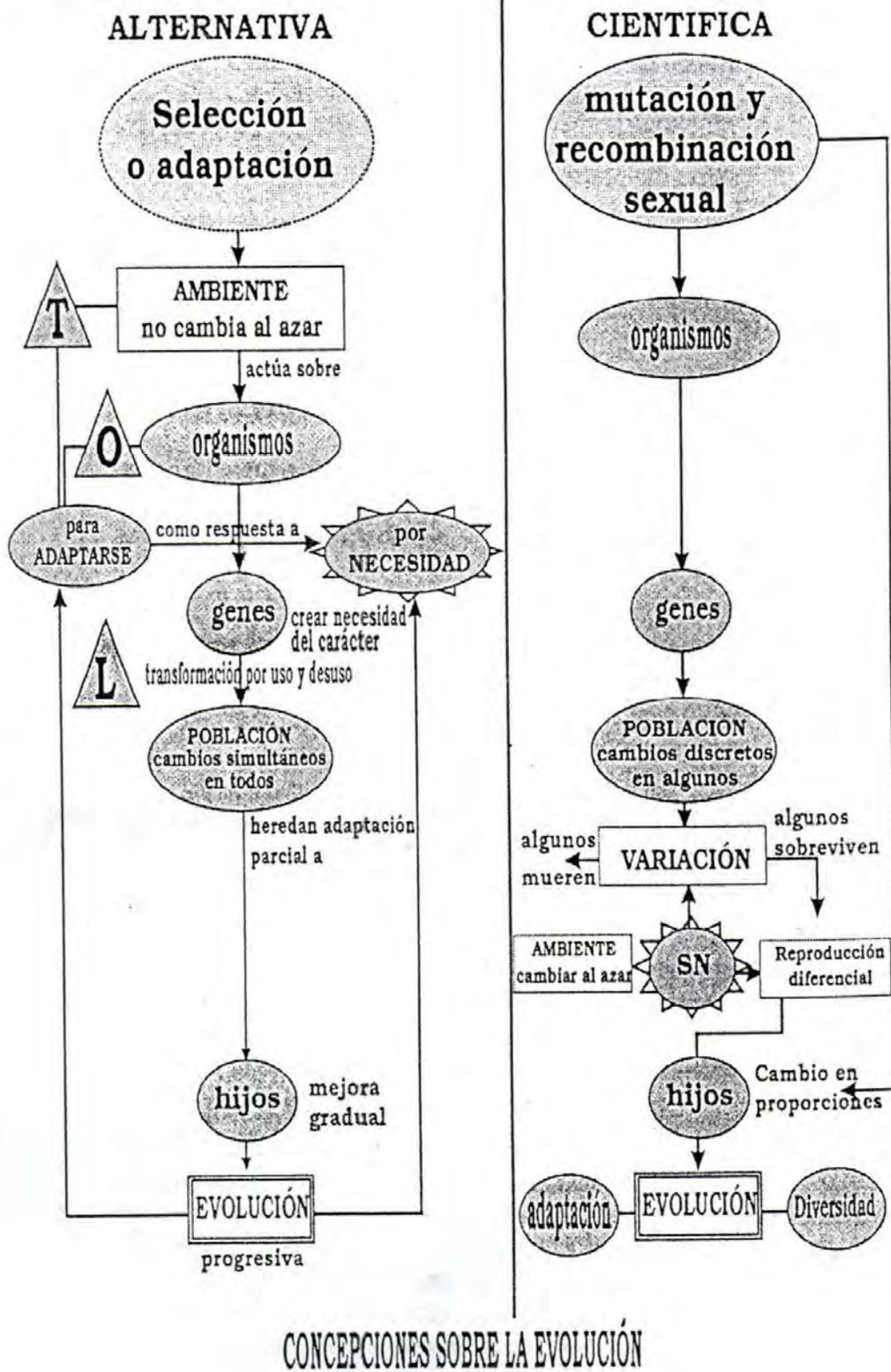


Fig.6 Clasificación de las concepciones alternativas de los estudiantes según Sánchez [2000].

Para hacer el análisis de los libros de texto de secundaria —el cual consistió en identificar en estos, elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica⁵¹— se utilizó la clasificación de González [2011], ya que integra los obstáculos epistemológicos y las concepciones alternativas de la evolución biológica dándoles coherencia; además explica detalladamente cada concepto.

⁵¹ Sin embargo, queda fuera del objetivo de este trabajo comprobar —investigando a los estudiantes— si esto sucede o no.

Clasificación según González [2011]

OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICO	CONCEPCIONES ALTERNATIVAS
1. «TELEOLOGÍA DEL SENTIDO COMÚN»:	a. «Finalismo explícito»
	b. «Cambio individual»
	c. «Crías adaptadas»
	d. «Inducción ambiental»
	e. «Finalismo implícito»
	f. «Negación variacional»
	g. «Mutación dirigida»
2. «RAZONAMIENTO CENTRADO EN EL INDIVIDUO»	a. «Cambio individual»
3. «RAZONAMIENTO CAUSAL LINEAL»	

1. TELEOLOGÍA DEL SENTIDO COMÚN (obstáculo epistemológico):

Es un obstáculo epistemológico que subyace a numerosas concepciones locales. Se define como “*el razonamiento según el cual todos los procesos y estructuras biológicos están orientados a la consecución de un fin*”. Frecuentemente, el fin implicado es “la supervivencia de la especie”.

- “Muchos estudiantes suponen que los individuos sufren directamente aquellos cambios que necesitan para sobrevivir”.
- “En otros casos, suponen que los individuos nacen con aquellos rasgos que necesitan”.
- “Por el contrario, el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural (MESN) requiere comprender que las variaciones individuales sobre las que opera la selección no están dirigidas a la adaptación sino que surgen de un modo aleatorio”.

[González, 2011, p.424]

a. FINALISMO EXPLÍCITO (concepción alternativa):

“(…) esta categoría supone apelación explícita y directa a las nociones de fin, meta, objetivo o necesidad”.

“Se trata de una noción teleológica ya que sólo es posible considerar algo como necesario en referencia a un fin. Una dada entidad no puede ser simplemente necesaria, debe ser necesaria *para* algo, es decir, *para alcanzar un fin previamente definido*”.

Ejemplos (afirmaciones de los jóvenes estudiantes):

- “Creo que el principal objetivo de un ser vivo es justamente, sobrevivir”.

- “El piojo al igual que las bacterias, tiene una capacidad de reproducción mayor, engendrando a millones de crías en el caso de los piojos, o dividiéndose para aumentar en número, por ende obtienen una rapidez mayor para adaptarse al medio, suponiendo que ante una condición cambiante que causa la muerte de millones de crías, existe la necesidad de adaptarse para no extinguirse”.
- “Todo, desde... bueno, antes era un mono, era altísimo, con... toda la estructura mucho... mucho más distinta, ahora ya... como vos no necesitás estar cazando tus dedos van a ser más frágiles que lo eran antes...”.
- “Claro, yo veo como una necesidad para los piojos, el insecticida es lo que los mata y para que no los mate puede haber una evolución en... en el mismo piojo, como pasa con todos los seres vivos, me parece...”
- “¡Claro! Lo que necesita, lo que le permite sobrevivir en ese ambiente”.

[González, 2011, pp.425, 426]

b) CAMBIO INDIVIDUAL (concepción alternativa):

Son “expresiones de la TSC (teleología del sentido común) porque el cambio individual al que refieren los estudiantes siempre está orientado a satisfacer una necesidad, a resolver un problema que amenaza la supervivencia del organismo. Así, este cambio obedece al fin (implícito) de sobrevivir.

Ejemplo:

- “Los insecticidas que se utilizaban antes ya no tienen efecto sobre los piojos porque los bichos son resistentes ya que se “acostumbran” a estos tipos de medicamentos”, se van procreando (de generación en generación) con cambios, desarrollando la capacidad de que los insecticidas no los dañen. Los anticuerpos (mejor dicho) encuentran la cura para este mal de piojos”.

En el lenguaje cotidiano el término “acostumbramiento” “se aplica a procesos individuales y dirigidos a cierta acomodación (individual) (...). El “acostumbramiento” supone así una modificación del individuo orientada a incrementar el ajuste entre este y las demandas del medio. Por tal motivo, se considera aquí que el uso de este término constituye en sí mismo una evidencia de carácter teleológico del razonamiento subyacente”.

[González, 2011, pp.426, 427]

c) CRÍAS ADAPTADAS (concepción alternativa):

Esta concepción supone que “las nuevas crías de aquellos individuos que enfrentan por primera vez el problema ambiental, nacidas en el ambiente hostil, nacen con “mejoras” para hacer frente al problema. Nuevamente se trata de una concepción teleológica porque estas modificaciones que aparecen con las nuevas generaciones son siempre adaptativas”.

Ejemplo:

- “Para mí los insecticidas en la actualidad ya no tienen efectos porque los piojos se van acostumbrando a las sustancias del mismo. A medida que se van reproduciendo los piojos nacen con un mecanismo de defensa para el insecticida”.

[González, 2011, p.427]

d) INDUCCIÓN AMBIENTAL (concepción alternativa):

Esta concepción “implica un razonamiento teleológico porque el cambio inducido es siempre adaptativo”.

Ejemplo:

- “Bueno, no toda la generación, los piojos que tenés en tu cabeza se mueren, después los otros...tal vez había un piojo que el... ¿Cómo se llama el producto? ... que el insecticida le llega pero no con tanta cantidad para matarlo entonces eso estimula que cree...”

[González, 2011, p.427]

e) FINALISMO IMPLÍCITO (concepción alternativa):

En algunas declaraciones de los jóvenes “no hay referencias explícitas a fines pero la construcción del texto puede interpretarse como la expresión de un pensamiento teleológico. Por ejemplo, el recurso a la estructura verbal “tener que” implica un cambio impuesto por las necesidades de supervivencia”. (...) Del mismo modo, la preposición “para” es característica de las construcciones teleológicas y se podría decir que es el indicador más frecuente del pensamiento teleológico”.

Ejemplo:

- “Es como el caso de los animales que vivían en el agua y tuvieron que adaptarse a la tierra, al principio la mayoría se morían, pero años más tarde y generaciones después, estos animales empezaban a desarrollar características que los ayudaban a vivir en la tierra, por ejemplo le salían patas o cosas así”.

- “No. No se, por ejemplo nosotros, tipo... no se, nos tiran un virus y nosotros nos vamos... a medida, nos vamos adaptando...evolucionando cosas para, eh...no se, defendernos de ese virus”.

[González, 2011, p.427, 428]

f) NEGACIÓN VARIACIONAL (concepción alternativa):

“Esta categoría hace referencia a la dificultad de los estudiantes para concebir el hecho de que un individuo nazca con un nuevo rasgo que resulte adaptativo en relación con un factor ambiental con el cual la especie no tiene experiencia previa. (...) Por ejemplo, “¿qué sentido tiene nacer con un pelaje grueso si no hay temperaturas bajas que enfrentar?””.

Ejemplo:

- “E-Está bien. Y si no se usara el insecticida ¿vos creés que igual podría nacer una cría resistente al insecticida? A- No, porque nunca se le aplicó”.

[González, 2011, p.428]

g) MUTACIÓN DIRIGIDA (concepción alternativa):

“Esta concepción (estrechamente relacionada con la número 6) supone que ocurren con mayor probabilidad aquellas mutaciones que resultan adaptativas, por lo que la ocurrencia de dichas mutaciones responde al fin de adaptarse”

[González, 2011, pp.428, 429].

2. RAZONAMIENTO CENTRADO EN EL INDIVIDUO (obstáculo epistemológico):

Este obstáculo epistemológico se define como “*el razonamiento según el cual los procesos biológicos (incluida la evolución) tiene lugar a nivel individual*”. Las respuestas de los estudiantes focalizan las explicaciones en el nivel individual.

“Se trata, por otro lado, de un pensamiento transversal, ya que no se aplica a un caso particular sino a una amplia diversidad de problemas”.

“El hecho de que el razonamiento de los estudiantes se centre en los individuos también es parte de concepciones que, en varias investigaciones previas sobre el tema, han sido calificadas de “lamarckianas” [Bishop y Anderson, 1990; Gené, 1991; Hallden 1988, Settlage, 1994, Zuzovsky, 1994, citados en, González, 2011, p.432].

“La aplicación del modelo de evolución por selección natural (MESN) requiere un razonamiento complejo que implica pensar en ambos niveles (individual y poblacional) y establecer relaciones causales entre ellos. En cualquier caso, los estudiantes no realizan análisis alguno a nivel poblacional, concentrándose en el nivel individual por lo que el razonamiento centrado en el individuo (RCI) dificulta la construcción del modelo de evolución por selección natural (MESN)”.

Para los estudiantes el razonamiento centrado en el individuo (RCI) es una explicación funcional, ya que ellos conocen por experiencia propia numerosos procesos y características que tienen lugar a nivel individual, por ejemplo, la inmunización contra ciertos patógenos o los cambios “adaptativos” en un sentido fisiológico. “Así, el sujeto puede dar cuenta del fenómeno de la evolución al reducirlo —mediante un razonamiento analógico— a los procesos de cambio a nivel individual que le resultan bien conocidos (principalmente los cambios fisiológicos). (...) el análisis a nivel individual se combina con el supuesto teleológico, resultando en un patrón explicativo muy sólido desde la perspectiva del estudiante”.

Ejemplo:

- “Los insecticidas que se utilizaban antes ya no tienen efecto sobre los piojos porque los bichos son resistentes ya que se “acostumbran” a estos

tipos de “medicamentos”, se van procreando (de generación en generación) con cambios, desarrollando la capacidad de que los insecticidas no los dañen. Los anticuerpos (mejor dicho) encuentran la cura para este mal del piojos”.

- “Porque se acostumbran, es decir, ya tantas veces se les aplicó el mismo producto antipiojos, que el piojo pudo crear los propios anticuerpos para con el piojicida. Es el mismo proceso que ocurre con las vacunas; no porque en este caso se les aplica poca cantidad, sino porque lo estimulan para que cree sus propios anticuerpos”.
- “Creo que el principal objetivo de un ser vivo es, justamente, sobrevivir. Las condiciones del entorno cambian constantemente, por lo tanto también los mecanismos que antes tenía el ser vivo para mantenerse dentro del mismo: ahora los piojos deben lidiar con un insecticida, entonces se adaptan. Es un proceso largo que se produce a nivel generacional y no en el ciclo de la vida de un piojo. Son mutaciones genéticas”.

[González, 2011, pp.430-432]

h) CAMBIO INDIVIDUAL (concepción alternativa):

Son expresiones del RCI (razonamiento centrado en el individuo) y de la TSC (teleología del sentido común) porque el cambio individual al que refieren los estudiantes siempre está orientado a satisfacer una necesidad, a resolver un problema que amenaza la supervivencia del organismo. Así, este cambio obedece al fin (implícito) de sobrevivir.

Ejemplo:

- “Pienso que ya no tienen efecto los insecticidas en los piojos debido a que se acostumbran al mismo, “creando” en ellos una capa impermeable al mismo”.

[González, 2011, p.426]

3. RAZONAMIENTO CAUSAL LINEAL (obstáculo epistemológico)

Los estudiantes “*Postulan una causa que produce una cadena de efectos, como si de una secuencia dependiente del tiempo se tratase*. Para Closset [1989, citado en González, 2011, pp.433], este razonamiento consistiría en transformar en una secuencia cronológica lo que sólo depende de relaciones lógicas no temporales. Según Pozo y Gómez Crespo [citados en González, 2011, pp.433]. *Los alumnos tienden a recurrir a un esquema causal muy simple para explicar los acontecimientos según el cual la relación entre la causa y el efecto es lineal y en un solo sentido*”. González [2011], definió el RCL “*como un modo de pensar según el cual todo fenómeno tiene una causa única y directa que lo precede temporalmente*”.

“Cabría esperar que el razonamiento causal lineal (RCL) dificultara la construcción de cualquier modelo científico que implicara pensar en términos de interacciones complejas entre diversos factores causales, como es el caso del modelo de evolución por selección natural (MESN). Según Pozo y Gómez Crespo [2004, citados en González, 2011, pp.434], la mayoría de las teorías científicas requieren entender las situaciones como una interacción de sistemas en la que la relación causa/efecto no es en un solo sentido sino que implica una relación recíproca y la interacción entre varias causas que se coordinan para producir un efecto dado”.

El RCL (razonamiento causal lineal) resulta explicativo (para el MESN (modelo de evolución por selección natural)), ya que el efecto (la adaptación) aparece como una consecuencia inevitable de la causa (el “problema – estímulo”). Si se

asume que los seres vivos tienen la capacidad de cambiar directamente en respuesta a sus necesidades, cualquier cambio adaptativo resulta explicado por dicha capacidad y el propio cambio adaptativo (el efecto) aparece como la consecuencia del problema ambiental (la causa).

[González, 2011, pp.433, 434, 436]

Otras concepciones alternativas:

a) EXTINCIÓN POR CAMBIO BRUSCO Y EXTINCIÓN ANTROPOGÉNICA (concepción alternativa):

Es una expresión del RCL (razonamiento causal lineal) y de la TSC (teleología del sentido común). Supone “que algo “extraordinario” debe suceder para que una especie se extinga”. Esta concepción es el “supuesto (implícito) de que en ausencia de estos factores extraordinarios las especies perdurarán indefinidamente. Presumiblemente, esto se debería a que la capacidad de adaptación (tal como la entienden los estudiantes) resultaría infalible”.

“Debido a que no hay una única explicación científica posible para el fenómeno de la extinción el análisis de las implicaciones didácticas se ve también complicado”.

[González, 2011, pp.440 y 441]

b) COMPENSACIÓN (concepción alternativa):

“Los estudiantes suponen que si la selección favorece la pérdida de una estructura es porque dicha pérdida está asociada a la aparición de otra estructura más adaptativa”.

Ejemplo:

- “Esto se explica de la siguiente forma, como los individuos que veían en la cueva no podían usar el sentido de la vista ya que no le llega [sic] la luz solar, por ende no se ve nada; las crías de los peces iniciales mutaron, con el objeto de inhibir este sentido (vista) desarrollando, probablemente, más los otros sentidos. Esta explicación corresponde a la teoría de Lamarck ya que es una explicación finalista”.

[González, 2011, pp.441, 442]

c) FINALISMO NATURAL (concepción alternativa)

“Esta categoría (—de la teleología del sentido común—) se refiere a expresiones de los estudiantes que sugieren que estos conciben la orientación a fin de los seres vivos en términos naturalistas (por oposición a “sobrenatural” y a intencional)” [González, 2011, p.443].

d) HERENCIA DE CARACTERES ADQUIRIDOS (concepción alternativa)

“(…) solo se heredan aquellos rasgos adquiridos que implican una mejora adaptativa” [González, 2011, p.443].

e) ANALOGÍA ADAPTACIÓN EVOLUTIVA/ADAPTACIÓN FISIOLÓGICA (concepción alternativa):

El establecimiento de la semejanza entre la adaptación evolutiva y la fisiológica implica una mirada teleológica del proceso evolutivo (expresión de la TSC), ya que la adaptación fisiológica es claramente teleológica”. Además, “la adaptación fisiológica es un procesamiento estrictamente individual, por lo que estas respuestas también constituyen expresiones del RCI (razonamiento centrado en el individuo)” [González, 2011, p.444]

Causas que explican los problemas presentes en la enseñanza aprendizaje de la biología evolutiva:

Además de los obstáculos epistemológicos y las concepciones alternativas antes mencionadas, Hernández et al. [2009], identifican diversas “causas que explican los problemas presentes en la enseñanza aprendizaje de la biología evolutiva”. Estas tienen que ver con “la complejidad intrínseca de esta área del conocimiento, aunada a la fragmentación de saberes que prevalece en el proceso de enseñanza aprendizaje de las ciencias; y lejos de estar aislados uno de otro, se relacionan íntimamente y requieren la consideración de diferentes ámbitos: cognoscitivo, disciplinario, didáctico, epistemológico, histórico y filosófico” [Hernández et al., 2009, p.112]. Los núcleos problemáticos son:

4. “La disciplina biológica que estudia la evolución de los sistemas vivos recibe el mismo nombre que su objeto de estudio, es decir, «evolución»”.

La «evolución» como un «hecho científico» y como «teoría» no se distingue de la «evolución» como disciplina científica.

5. “En diversos programas de estudio e instrumentos de evaluación de biología evolutiva, no se resalta suficientemente el concepto de «variación»”, el cual es “el más tangible de los conceptos de la biología evolutiva, el de existencia más concreta, observable y que puede resultar más significativo en la construcción de su aprendizaje”.
6. “Existe confusión entre «variación», «variabilidad», «variedad»”.
7. “No es explícito que la «selección natural» es una inferencia”. Se demanda “un esclarecimiento cognitivo ya que representa relaciones “invisibles”, a diferencia de la variación que es observable”.

8. El concepto de «tiempo geológico» es necesario para entender las explicaciones evolutivas, y lo regular es que no es explícito en los contenidos de ciencia ni considerado como sustrato de la enseñanza aprendizaje.
9. “La interacción medio-variación es una de las relaciones que presentan dificultades de aprendizaje de la biología evolutiva”.
10. “Las unidades de selección no están claramente identificadas y diferenciadas en los alumnos; no son explícitas en los contenidos y es frecuente que no las enfatizan los profesores.
11. “El concepto de «azar» en biología evolutiva es quizá uno de los que tienen mayores sutilezas y complejidad para ser comprendido. (...) No resulta claro que la participación del azar esté en la interacción variación, selección, medio, circunstancias espacio temporales”, y no en el origen de la variación.
12. “Necesidad, dirección, teleología, y ontogenia, son conceptos que se confunden en la enseñanza, en el aprendizaje y en los instrumentos de evaluación de la biología evolutiva”.

[Hernández et al., 2009, pp.112-114]

CAPÍTULO 3 DESARROLLO Y RESULTADOS. ANÁLISIS DE TEXTOS DE USO FRECUENTE EN EDUCACIÓN SECUNDARIA DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

✓ **Preguntas de investigación:**

⇒ ¿Los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes?

⇒ ¿Qué elementos textuales de estos libros de texto podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes?

⇒ ¿Por qué estos elementos textuales podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes?

✓ **Hipótesis:** Los libros de texto de biología de secundaria contienen elementos textuales que sí podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes.

✓ **Objetivos**

Objetivo general:

Identificar los elementos textuales de los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— que podrían favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes.

Objetivos específicos:

1. Responder a la pregunta general de si los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.
2. Explicar el por qué cada elemento textual que se subrayó en los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos— podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica.

✓ Metodología:

Se eligieron 4 libros de primero de secundaria “Ciencia 1 (con énfasis en biología)” de la librería “Casa del libro” ubicada en Ciudad Satélite (Naucalpan, Estado de México). El criterio para elegirlos fue que fueron los más vendidos durante 2008 en esta tienda (la fuente fue un vendedor que revisó su registro de libros vendidos). Estos 4 libros continúan siendo autorizados por la Secretaría de Educación Pública (SEP) para ser utilizados en las escuelas secundarias del Sistema Educativo Nacional —modalidades escolar, no escolarizada, y mixta— (todas las secundarias de México).

Por ninguna razón en particular se eligió la librería “Casa del libro” ubicada en Ciudad Satélite; lo que interesa a esta investigación es tener 4 libros para analizar (como ejemplos), no saber cuáles son los más vendidos en todas las librerías del país. Esta investigación es sólo un ejercicio de análisis de concepciones alternativas de la evolución biológica, no propone el libro de texto específico que el profesor debe elegir. Los profesores pueden leer este trabajo y estudiar los resultados para después utilizarlos como ejemplos; así independientemente del libro que elijan de entre todos los que permite la SEP, tendrán la capacidad de reconocer algunas concepciones alternativas de la biología evolutiva.

Los 4 libros son:

- Aránzazu, C., Mota, E., Bonfil, C., y Garay, A. (2006). *Ciencias 1. Biología* (1ª ed.). México: Santillana.
- Barahona, A. (2012). *Ciencias 1. Biología. Conectando entornos* (1ª ed.). México: SM
- Guillén, F. (2006). *Ciencias 1. Biología* (1ª ed.). México: Santillana.
- Limón, S., Mejía, J., y Aguilera, J. (2008). *1 Secundaria. Biología. Ciencias* (3ª ed.). México: Castillo.

Se analizó en los 4 libros el contenido sobre biología evolutiva. En el programa de estudios 2006 de primer año, el contenido está organizado así:

Bloque 1 “La biodiversidad: resultado de la evolución”

Contenido: “Importancia de las aportaciones de Darwin”:

- a) “Reconocimiento de algunas evidencias a partir de las cuales Darwin explicó la evolución de la vida”
- b) “Relación entre adaptación y la sobrevivencia diferencial de los seres vivos”.

El análisis consistió en identificar en los 4 libros (en la parte de biología evolutiva), elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica⁵².

⁵² Sin embargo, queda fuera del objetivo de este trabajo comprobar —investigando a los estudiantes— si esto sucede o no.

Una vez que se identificaron los elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas, se explicaron las causas.

Los libros de texto en el salón de clases:

Para Campanario [2001], “No cabe duda de que el libro de texto es uno de los recursos pedagógicos más utilizados en la clase de ciencias. Para muchos profesores, la elección de un libro de texto supone su decisión curricular más importante, por lo que no es raro que este instrumento ejerza un efecto poderoso sobre sus enfoques docentes y sobre las estrategias de aprendizaje de los alumnos” [Campanario, 2001, p.352].

Para Bañas et al. [2004], “Los libros de texto continúan siendo uno de los soportes fundamentales de información de los profesores y en muchas ocasiones los principales materiales de apoyo para la enseñanza” [Bañas et al., 2004, p.298]. “En investigaciones con profesores de ciencias se ha observado que los profesores de secundaria al iniciarse en la enseñanza toman el libro de texto como una referencia fundamental para organizar el contenido científico y que la dependencia es mayor cuanto más bajos sean sus conocimientos de ciencias” [Harlen y Holroyd, 1997; Hashweh, 1987; Lee y Porter, 1993, citados en, Bañas et al., 2004, pp.298].

“Al ser el recurso más utilizado, los libros de texto tienen gran influencia en la adquisición de conceptos científicamente aceptados, pero también pueden reforzar ideas alternativas de los estudiantes y contribuir a causar dificultades de aprendizaje” [Perales, 2000, citado en, Bañas et al., 2004, p.298].

Para Albaladeja y Camaño [1992] y Pozo [1996], entre las causas de las concepciones alternativas están “las experiencias y observaciones de la vida cotidiana, el profesorado, los libros de texto y otros materiales escolares, la interferencia del lenguaje cotidiano y el científico, los medios de comunicación, y la cultura propia de cada civilización” [Bañas et al., 2004, pp.298].

Sin embargo, Campanario [2001] realizó un trabajo cuyo objetivo principal “es el de ofrecer algunas sugerencias concretas para aquellos profesores y profesoras interesados en encontrar nuevos usos a sus libros de textos de ciencias. Entre estas sugerencias está la de buscar errores y avisar a los alumnos de su presencia” [Campanario, 2001, p.352], ya que según Mora [2003], el profesor y el alumno deben ser conscientes de sus obstáculos epistemológicos y concepciones alternativas para poder salvarlos [Mora, 2003, p.10].

Por ejemplo, para González [2011], “La afirmación de que parece poco probable que los obstáculos sean eliminados y reemplazados por otros modos de razonamientos se desprende claramente tanto de la omnipresencia y resistencia al cambio de estos modos de pensar, revelados por la investigación en didáctica, como de los análisis provenientes de la psicología cognitiva y del desarrollo (...). Si las concepciones teleológicas derivan de un sesgo cognitivo probablemente innato, funcional y adaptativo, no solo no es esperable su eliminación sino que ni siquiera podría considerarse deseable” [González, 2011, p.599].

Por lo tanto, la propuesta de González [2011] es que “el aprendizaje requiere la reestructuración o reemplazo de las explicaciones y de algunas concepciones, al tiempo que se conservan los obstáculos. La modificación de las concepciones y explicaciones no requiere la eliminación (ni siquiera, tal vez, la modificación) de los obstáculos sino el ejercicio de una vigilancia epistemológica (metacognitiva) sobre los mismos⁵³ [González, 2011, p.603].

Es decir, según Pozo, “(...) *la enseñanza de la ciencia no debería orientarse a reemplazar las ‘concepciones alternativa’ por conceptos científicos, sino a hacer que los estudiantes reflexionen sobre las diferencias conceptuales y funcionales entre estos*

⁵³ “Sin embargo, esto no basta para que sea capaz de utilizar el MESN para producir explicaciones potentes. Es igualmente necesario un proceso de construcción de un modelo alternativo (más cercano al científico) que resulta comprensible y fructífero en términos explicativos” [González, 2011, pp.603].

dos sistemas de conocimiento, aparentemente solapados, a través de procesos de conciencia metacognitiva [Pozo, 2006, citado en, González, 2011, p.599].

Para González, “En particular, el aprendizaje del MESN (modelo de evolución por selección natural) requiere que el estudiante”:

- ✓ “Tome conciencia de sus concepciones alternativas y sus obstáculos subyacentes”,
- ✓ “Tome conciencia de las diferencias entre dichas concepciones y obstáculos y el MESN y”
- ✓ “Sea capaz de “vigilar” y guiar sus razonamientos teniendo el MESN como referencia”.

[González, 2011, p.606]

“Estas reflexiones metacognitivas requieren, a su vez, prestar atención al lenguaje en las clases. El análisis explícito del significado de los términos utilizados es una condición necesaria para que el sentido de las expresiones utilizadas durante las clases sea medianamente claro, especialmente considerando los múltiples significados que se asignan a muchos términos utilizados en biología evolutiva tales como “adaptación” y la ambigüedad de las expresiones teleológicas [Anderson et al., 2002; Kallery y Psillos, 2004; Kattmann, 2008; Mead y Scott, 2010; Pozo y Gómez Crespo, 2004; Rumelhard, 2001; Smith, 2010b; Zohar y Ginossar, 1998, citados en, González, 2011, p.607].

Por todo esto, “La búsqueda y explicitación de los posibles errores debería ser una de las primeras tareas a realizar por un profesor cuando toma contacto con un libro de texto de cara a su utilización en el aula [Campanario, 2001, p.353].

3.1 LIBRO 1. Barahona⁵⁴⁵⁵

- 1) Un elemento del texto que no facilita el aprendizaje de la biología evolutiva es la forma de abordar el «tiempo geológico».

Según Hernández et al. [2009], el concepto de tiempo geológico es necesario para entender las explicaciones evolutivas, y lo regular es que no se hace explícito en los contenidos de ciencia, ni es considerado como sustrato de la enseñanza-aprendizaje [Hernández, et al., 2009, p.113].

En el libro de Barahona se aborda el término «millones de años» sin proporcionarle a los alumnos una ilustración explícita que haga «concreto» el concepto de tiempo profundo. Es difícil que los alumnos comprendan el concepto de tiempo geológico de manera abstracta, es necesario utilizar el espacio para hacerlo concreto.

- 2) Un elemento del texto que no facilita el aprendizaje de la biología evolutiva es que se utiliza el concepto «extinción» sin explicar su definición:

“Recuerda que los fósiles son evidencias de que existieron organismos en el pasado, EXTINTOS por distintas razones, con similitudes y diferencias respecto a los organismos actuales” [Barahona, 2012, p.31].

- 3) Un elemento del texto que no corresponde a la biología evolutiva es el término «aparición» que aquí se usa para describir la evolución de los organismos multicelulares:

“Hace aproximadamente 1 000 millones de años surgieron organismos pluricelulares más complejos, hasta que APARECIERON organismos multicelulares como esponjas y medusas; (...)” [Barahona, 2012, p.32].

⁵⁴ Barahona, A. (2012). *Ciencias 1. Biología. Conectando entornos* (1ª ed.). México: SM

⁵⁵ Se analizaron las páginas 30 a 38

Este enunciado podría confundir a los estudiantes, ya que los organismos no aparecen de la nada —como en el «creacionismo»— sino que evolucionan de otros ya existentes.

- 4) Un elemento del texto que no permite el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva es que se utiliza el concepto de «variación» sin definirlo ni enfatizarlo y se utiliza de manera no acertada;

“Más adelante, en su viaje hacia la Patagonia, se asombró con la existencia de dos tipos de aves, que nunca había visto, y que, al parecer, ocupaban el mismo territorio. Esas aves eran parecidas a los avestruces aunque de color más oscuro y moteado, y de piernas más cortas y cubiertas de plumas. Darwin pensó que era muy probable que una de ellas se derivara de la otra debido a una VARIACIÓN” [Barahona, 2012, p.33].

La variación son las diferencias fenotípicas y genotípicas de los individuos de una población; sin embargo, en el enunciado del texto de Barahona [2012], variación se refiere al concepto «variar»: “Hacer que una cosa sea diferente de lo que antes era” [RAE]. Esto podría confundir a los estudiantes porque el término no se utiliza en el contexto del proceso evolutivo. De hecho, la variación es la base de la evolución y debe ser el concepto que se aborde primero en la enseñanza. Según Hernández [2009], “en diversos programas de estudio e instrumentos de evaluación de biología evolutiva, no se resalta suficientemente el concepto de variación”, el cual es “el más tangible de los conceptos de la biología evolutiva, el de existencia más concreta, observable y que puede resultar más significativo en la construcción de su aprendizaje” [Hernández et al., 2009, pp.112-114].

Más adelante en el texto se utiliza el término «nuevas variaciones», pero no se define ni se utiliza acertadamente:

“Para Darwin, esta observación fue muy importante pues lo condujo a suponer que las ESPECIES SE SELECCIONABAN de la misma manera, dando lugar,

después de varias generaciones, a NUEVAS VARIACIONES” [Barahona, 2012, p.36].

Las variaciones se originan por mutación o por recombinación, no por selección natural. Además:

- 5) Otro aspecto del texto anterior que no corresponde a la biología evolutiva, es que se utiliza el concepto de «especie» sin definirlo y de manera confusa, ya que lo que se selecciona naturalmente en el proceso evolutivo son los «individuos» no las especies. Lo que se selecciona dentro de una población —de una sola especie— son ciertos individuos que tienen mayor probabilidad de sobrevivir y reproducirse en un ambiente dado.

- 6) Un enunciado que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica es:

“Darwin fue el primero en plantear que todos los organismos descritos eran muy parecidos en sus estructuras debido a que compartían un ancestro común. CON EL TIEMPO, SUS CARACTERÍSTICAS SE TRANSFORMARON AL DESARROLLARSE EN AMBIENTES DISTINTOS Y CUMPLIR FUNCIONES DIFERENTES” [Barahona, 2012, p.34].

Este enunciado podría propiciar, favorecer, o reforzar las concepciones alternativas: «inducción ambiental», «cambio individual», y «finalismo implícito». Al expresar —Barahona [2012]— que “las características (de los individuos) se transforman al desarrollarse en ambientes distintos” —sin mencionar los conceptos de evolución, selección natural, y población— se entiende que el desarrollo es individual y por necesidad debido al ambiente.

- 7) Un elemento textual que no favorece el aprendizaje de la biología evolutiva es que el concepto de adaptación se define —en un recuadro— como:

“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, FISIOLÓGICAS O DE CONDUCTA QUE PRESENTAN LOS ORGANISMO Y QUE LES PERMITEN VIVIR EN SU AMBIENTE” [Barahona, 2012, p.36].

Esta definición es poco acertada porque las adaptaciones —como resultado de la selección natural— son los caracteres de los organismos que mejoran el éxito reproductivo (incluyendo la sobrevivencia) en relación a otros caracteres posibles [Futuyma, 1998, p.354] (Definición aceptada por todos los biólogos) [Véase Futuyma, a1998, p.354; b2009, pp.294; Mayr, 2001, p.149]: En la definición de Barahona no se explica lo anterior y sólo se menciona que una adaptación les permite a los organismos vivir en su ambiente. Además no menciona que las adaptaciones son resultado de la selección natural.

- 8)** Varios elementos del texto que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas y que no corresponden a la biología evolutiva, son:

A su llegada a las islas Galápagos, Darwin “observó DIFERENTES ESPECIES DE AVES conocidas como pinzones. Todas las que habitaban diferentes islas eran muy parecidas, salvo por el tamaño y la forma de su pico. Los pinzones que se alimentaban de cactus eran de picos más largo y puntiagudo; los que lo hacían de semillas, lo tenían más corto y duro, mientras que era más delgado y largo en aquellos que extraían gusanos de la corteza de los árboles” [Barahona, 2012, p.36].

“Es decir, observó que había VARIACIONES ENTRE LOS MIEMBROS DE UNA MISMA ESPECIE; en el caso de los pinzones, esta variación estaba relacionada con su alimentación. También se dio cuenta de que todos tenían similitudes entre sí y con los pinzones del continente que se alimentaban de semillas” [Barahona, 2012, p.36].

“Darwin especuló que los pinzones tenían un ancestro común que se alimentaba de semillas, el cual había migrado del continente a las islas, donde encontró condiciones poco favorables; como las poblaciones que migraron se habían enfrentado a entornos diferentes, LAS ESPECIES QUE DEJARON MAYOR DESCENDENCIA HABÍAN DESARROLLADO CARACTERÍSTICAS ÚNICAS DE

ADAPTACIÓN a los alimentos a los alimentos y ambientes disponibles” [Barahona, 2012, p.36].

“Al paso del tiempo se establecieron diferentes poblaciones en cada isla, y después de un lapso muy prolongado, se formaron especies diferentes. Este proceso se conoce como evolución por selección natural. De la selección puede resultar una especie ADAPTADA a cierto ambiente, por esta razón hay pinzones con características particulares en cada isla” [Barahona, 2012, p.36].

En el primer párrafo, Barahona [2012] menciona que los pinzones de las islas Galápagos son especies diferentes; sin embargo en el segundo párrafo afirma que las variaciones de los pinzones son de una sola especie. Esto es confuso. En realidad los pinzones de las islas Galápagos son de diferentes especies, por lo que sus diferencias son adaptaciones no variaciones.

En el tercer párrafo se vuelve a mencionar que lo que se selecciona naturalmente son las especies, no los individuos. Además Barahona [2012] afirma que las adaptaciones se desarrollan, pero no dice que es por selección natural, por lo que se podría propiciar, favorecer, o reforzar la concepción alternativa: «finalismo implícito». En el texto no se explica de manera explícita el proceso de selección natural, de hecho, la idea del mismo es muy confusa.

En este mismo párrafo y en el siguiente se utiliza el concepto adaptación como si fuera un proceso, es decir, como un sinónimo de selección natural. Esto podría ser confuso para los estudiantes y propiciar, favorecer, o reforzar la concepción alternativa: «finalismo implícito» porque: “El hecho de que en los libros de secundaria no se explicita la diferencia entre *una* adaptación y *la* adaptación invita a construir una identidad entre *rasgo* y *proceso*. De esta forma se genera una argumentación circular (la adaptación produce adaptación, o se adaptan porque están adaptados). Se desprende una relación de identidad entre la adaptación, la selección natural y la evolución [Gándara, Gil, y Sanmartí, 2002, p.309]. De hecho, según Mayr [2001], es incorrecto usar el término adaptación

para referirse al proceso activo por el cual se adquiere un carácter favorecido. Según este autor, esa definición de adaptación es teleológica, es decir, proviene de la antigua creencia de que los organismos tienen una capacidad innata de mejorar, de volverse cada vez “más perfectos”. Para Mayr [2001], esta visión es indefendible. Para un darwinista, la adaptación es un fenómeno completamente “a posteriori” (posterior a)⁵⁶. En cada generación, todos los individuos que sobreviven al proceso de “eliminación” (selección natural) están de hecho “adaptados” y así las propiedades que les permitieron sobrevivir. La “eliminación” no tiene el “propósito” o el “objetivo teleológico” de producir adaptación; más bien, la adaptación es un subproducto⁵⁷ del proceso de “eliminación” [Mayr, 2001, p.150].

9) Un elemento textual no favorece el aprendizaje de la biología evolutiva es:

Por ello, Darwin supuso que debía existir un freno natural al crecimiento desmedido de las poblaciones; lo encontró en la COMPETENCIA INTENSA entre los miembros de una población por los recursos disponibles. A esto se le llamó LUCHA POR LA EXISTENCIA.

Dicho de otra forma, si una población crece desmedidamente, los recursos disponibles escasean con el tiempo, lo cual limita el número de individuos que sobrevivan. Además, entre los miembros de la población se dará la COMPETENCIA POR LOS RECURSOS.

[Barahona, 2012, p.37].

Respecto al término «lucha por la existencia»: “La ciencia necesita metáforas. Expresiones que sugieren una comparación con conceptos u objetos conocidos, resultan útiles para la comprensión y la comunicación de conceptos referidos a

⁵⁶ **A posteriori:** “Indica la demostración que consiste en ascender del efecto a la causa, o de las propiedades de algo a su esencia” [RAE].

⁵⁷ **Subproducto:** “En cualquier operación, producto que en ella se obtiene además del principal. Suele ser de menor valor que este” [RAE].

nuevos descubrimientos científicos. (...) Pero, en la reflexión científica sobre el hecho o proceso al que se refiere una metáfora, tanto si es o no motivada directamente por la imagen que esta evoca, siempre resultará conveniente tener presente su imperfección, ya que, al contrario de lo que pensaba Darwin, no siempre es cierto que “todos sabemos lo que se entiende e implican tales expresiones metafóricas” [Darwin, 1859, citado en Vilas, 2012, pp.25 y 26]. En ocasiones, la metáfora ni siquiera es identificada como tal” [Vilas, 2012, pp.25, 26], en especial por los alumnos jóvenes. En este caso, en los párrafos de Barahona, sería esencial especificar que la frase “lucha por la existencia” es una metáfora.

Según Vilas [2002], “La metáfora de la supervivencia de los más aptos destaca del proceso evolutivo la idea de lucha por la existencia. En la naturaleza reinaría el caos a nivel individual, cada uno lucharía afirmando su propia vida por encima de todo, sin otro afán que la supervivencia y el poder contribuir con sus genes a la constitución de la siguiente generación. Una metáfora que inspiraría otras como la comparación de la selección natural con aquella mano invisible que llevaba al orden natural, en clara analogía con el liberalismo económico de Adam Smith. Así, de una competencia salvaje ocurriendo a nivel individual emergería un orden, reflejado en la adecuación de las especies a su ambiente, que, dicho sea de paso, incluye también a otras especies, únicamente los organismos más aptos sobrevivirían. (...) Sin embargo, no es preciso que exista la competencia para que se produzca la selección natural. Por ejemplo, dos cepas bacterianas creciendo de manera logarítmica en un medio pleno de recursos pueden diferir en eficacia si una de ellas tiende a crecer más rápidamente, por lo que es probable que en tales condiciones se produzca cambio evolutivo en la población sin que haya habido competencia por los mismos recursos” [Vilas, 2012, pp.27, 28].

Para Ridley [1998], en un sentido ecológico, los organismos que nacen compiten por los recursos para sobrevivir y reproducirse —directamente (por ejemplo, defendiendo su territorio), e indirectamente (por ejemplo, compitiendo por comida)—. Darwin llamó a esta competencia ecológica “lucha por la existencia”

(“*struggle for existence*”), sin embargo, como ya se mencionó, esta expresión es metafórica porque no implica que los organismos peleen físicamente para sobrevivir. (Aunque muchas veces las peleas sí ocurren) [Ridley, 1998, pp.70-72].

10) Un elemento textual que no corresponde a la biología evolutiva es:

Los biólogos han estudiado este fenómeno desde entonces, debido a los CAMBIOS EN LA ADAPTACIÓN de algunas especies de insectos, como las polillas *Biston betularia* [Barahona, 2012, p.38].

Este enunciado es confuso, sería adecuado en vez de decir “cambios en la adaptación”, decir “cambios en las adaptaciones”. No existen los cambios en la adaptación porque el proceso general de selección natural es siempre igual.

3.2 LIBRO 2. Cedillo, Mota, Bonfil y Garay⁵⁸⁵⁹

- 1) En el texto, Cedillo, et al. [2006] no enfatiza el concepto de «variación» y lo menciona en un sólo enunciado tres páginas después de explicar el concepto de selección natural.
- 2) En el texto, Cedillo et al. [2006] no hace concreto el concepto de «tiempo geológico».
- 3) Una afirmación que podría confundir tiene que ver con las características del conocimiento científico:

“Otro naturalista, el inglés Charles Darwin, desarrolló una teoría de la evolución de las especies que ha tenido un gran impacto en la biología y que ha probado SER CORRECTA” [Cedillo, et al., 2006, pp.39].

Para Campanario [2001], “Existe una amplia evidencia experimental que demuestra que los alumnos y, a veces, los profesores tienen ideas equivocadas sobre la ciencia y el conocimiento científico” [Hammer, 1994; y Campanario, 1998b, citados en Campanario 2001, pp.354]. Estas ideas se refieren, por ejemplo, a cómo se construye, cómo evoluciona y cómo se articula el conocimiento científico. Lo mismo sucede, con frecuencia, con las ideas sobre la ciencia que presentan los libros de texto” [Campanario, 2001, pp.354].

Según Vázquez y Manassero Mas [2009], “Las investigaciones desarrolladas sobre la comprensión de la naturaleza de la ciencia por los estudiantes (generalmente desde secundaria a universidad) coinciden consistentemente en que exhiben una comprensión inadecuada de la misma en altas proporciones

⁵⁸ Cedillo, A., Mota, E., Bonfil, C., y Garay, A. (2006). *Ciencias 1. Biología* (1ª ed). México: Santillana.

⁵⁹ Se analizaron las páginas 39-45

[entre otros, Aikenhead, 1973; Cooley y Klopfer, 1961; Korth, 1969; Mackay, 1971; Rubba y Andersen, 1978; Welch, 1981, citados en Vazquez y Manassero Mas, 2009].

En relación al texto de Cedillo, et al, [2006], según la filosofía de la ciencia, existen dos posturas con relación a las teorías científicas: “En líneas generales, el realista científico sostiene que los objetos, estados y procesos que postulan ciertas teorías científicas realmente existen, y que las teorías tienen un valor de verdad en el sentido de la correspondencia. En cambio, el antirrealista científico rechaza el compromiso ontológico con dichas entidades, y considera que las teorías que hablan de ellas sólo son herramientas del pensamiento para poder predecir y producir sucesos que nos interesan. Las teorías pueden ser empíricamente adecuadas, útiles, aplicables, o estar justificadas pero no podemos considerarlas —ni siquiera a las teorías más exitosas historias literalmente verdaderas acerca de cómo es el mundo” [Pérez, 1999, p.149].

En su texto, Cedillo, et al., [2006] muestra una postura realista científica, ya que considera que la teoría de la evolución es correcta, y por lo tanto, real y verdadera. Sin embargo, esta afirmación podría confundir a los estudiantes que no tienen algún conocimiento de filosofía de la ciencia y, por lo tanto, no pueden reflexionar con argumentos sobre las posturas filosóficas.

Por ejemplo, Rubba y Andersen (1978) encontraron que la tercera parte de los estudiantes preuniversitarios creía que la investigación científica demostraba verdades absolutas e incontrovertibles (bautizado como «el mito de la verdad absoluta»), y que las teorías científicas, con su confirmación a través del tiempo, se convertían en leyes («la fábula de que las leyes son teorías maduras»)” [Vázquez y Manassero Mas, 1999, pp.378].

“Especialmente entre la gente de la calle, está muy extendida la concepción dogmática de la ciencia, que la ve como una colección de leyes que se cumplen con precisión e infalibilidad absolutas. La imagen del conocimiento científico que se extrae de esta visión es un conocimiento exacto, infalible e inmutable, que

ignora a) las dificultades que ha tenido la ciencia (controversias, revoluciones, etc.), b) las limitaciones en la validez de sus leyes y modelos, c) la existencia de preguntas que no sabe responder (todavía), d) que mantiene abiertas vías de investigación contrapuestas, e) que en su cuerpo de conocimientos coexisten teorías en competencia (que predicen resultados contradictorios sobre un mismo fenómeno)", f) que la ciencia es imperfecta, inacabada, etc. Sin embargo, la ciencia no se ajusta a una imagen dogmática y, por el contrario, "siempre es provisional, variable y controvertible" [Vázquez y Manassero Mas, 1999, pp.379].

De hecho, según el capítulo 1 de esta tesis, la teoría de la evolución actual corresponde a la metáfora del *Duomo* de Milán: Unos cimientos firmes —la teoría de la selección natural— sobre los que se erige una superestructura fascinantemente distinta, —debido a que durante las tres últimas décadas del siglo XX se introdujeron críticas que funcionan como "elementos auxiliares o adiciones útiles que enriquecen, o alteran sustancialmente, la formulación darwiniana original, pero no afectan el núcleo de la selección natural"— [Gould, 2002, pp.37]), es decir, la teoría de la evolución actual expande, reformula, y "vigoriza la selección natural mediante la consideración de otras causas no contrarias a ella (como mucho «ortogonales»⁶⁰) que ya no pueden considerarse equivocadas o desdeñarse como triviales" [Gould, 2002, pp.47]. Tal es el caso de la

- 4) Un elemento del texto que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas es:

"Otras (especies), por el contrario, PUDIERON ENFRENTAR CON ÉXITO LAS NUEVAS CONDICIONES AMBIENTALES PORQUE EN ELLAS SE MODIFICARON CIERTAS CARACTERÍSTICAS A LO LARGO DEL TIEMPO, como los picos de los pinzones de las islas Galápagos" [Cedillo, et al., 2006, p.42].

⁶⁰ Del griego *orthos* (recto) y *gonía* (ángulo). En matemáticas, el término ortogonalidad es una generalización de la noción geométrica de perpendicularidad [Extraído el 16/02/2010 desde <http://www.babylon.com/definition/orthogonal/Spanish>].

El enunciado menciona que X especie “pudo enfrentar con éxito las nuevas condiciones ambientales porque en ella se modificaron características a lo largo del tiempo”, lo que podría interpretarse como que los individuos se modificaron por necesidad debido al ambiente y no por selección natural. Las concepciones alternativas que este enunciado podría reforzar serían el «finalismo implícito» (El fin u objetivo de la modificación de los individuos fue enfrentar con éxito las nuevas condiciones; es decir, necesitaron cambiar debido al ambiente), el «cambio individual» y la «inducción ambiental».

- 5) Un elemento del texto que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas y no corresponde a la biología evolutiva se relaciona con la variación:

“POR OTRO LADO, SI EL AMBIENTE EN QUE VIVE UNA ESPECIE NO CAMBIA, ÉSTA PUEDE MANTENERSE PRÁCTICAMENTE IGUAL POR LARGOS PERIODOS DE TIEMPO” [Cedillo, et al., 2006, p.41].

Este enunciado podría confundir a los estudiantes y reforzar concepciones alternativas porque parece ignorar que el origen de la variación es independiente del cambio ambiental. Es decir, en la naturaleza continuamente se está originando variación que puede ser favorable produciéndose selección natural aún si el ambiente no cambia; Sin embargo, el enunciado podría interpretarse como: si el ambiente cambia, entonces la especie también cambia por necesidad.

Las concepciones alternativas que podrían reforzarse con este texto son el «finalismo implícito», la «inducción ambiental», y la «negación variacional».

- 6) Un elemento del texto que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas se relaciona con la selección natural:

Puede considerarse entonces que el medio natural “SELECCIONA” a los individuos con ciertas características ventajosas [Cedillo, et al., 2006, pp.44].

“Describir la selección natural como una selección ejercida por la naturaleza constituye en sí mismo una metáfora. “En el sentido literal de la palabra, indudablemente, selección natural es una expresión falsa” [Darwin, 1859, citado en, Vilas, 2012, p.26]” Para Darwin la selección natural es una metáfora; fue imaginada por él “como una analogía con la selección artificial realizada por el hombre en la formación de razas domésticas. La naturaleza escogería, a través de la selección natural, aquellos organismos con las variantes fenotípicas que le resultan más favorables en su adecuación al ambiente, de manera análoga a como el hombre selecciona los rasgos que le son de interés para realizar sus intenciones. “Metafóricamente puede decirse que la selección natural está buscando cada día y cada hora por todo el mundo las más ligeras variaciones; rechazando las que son malas; conservando y sumando todas las que son buenas; trabajando silenciosa e insensiblemente, *cuando quiera y donde quiera que se ofrece la oportunidad*, por el perfeccionamiento de cada ser orgánico en relación con sus condiciones orgánicas e inorgánicas de vida”⁶¹ [Darwin, 1859, citado en, Vilas, 2012, p.27]. Uno de los riesgos que implica la no identificación de esta metáfora es interpretar la selección natural como si fuera un agente, en relación con entidades que tienen propósitos y siguen estrategias [Vilas, 2012, p.27].

Cedillo, et al. [2006] no aclara que esta expresión es una metáfora; sólo se limita a poner el término “selecciona” entre comillas. El estudiante podría confundirse y considerar a la selección natural como un agente con propósitos y estrategias;

⁶¹ “Al co-descubridor de la selección natural, Alfred Russell Wallace, le disgustaba sobremanera esta metáfora debido a sus connotaciones antropocéntricas, por lo que sugirió a Darwin que abandonase el concepto de selección natural y la sustituyese por la expresión “la supervivencia de los más adecuados”, que había sido acuñada por Herbert Spencer [Darwin, 1859, citado en, Vilas, 2012, p.227]. Sin embargo, esta nueva metáfora daría lugar a algunos de los errores más comunes y persistentes a la hora de comprender la selección natural” [Vilas, 2012, p.27].

por lo que la concepción alternativa que se podría propiciar, favorecer, o reforzar sería el «finalismo implícito».

3.3 LIBRO 3. Guillén⁶²⁶³

- 1) Una situación que no facilita el aprendizaje de la biología evolutiva es que no se enfatiza el concepto de «variación».
- 2) Una afirmación de Guillen [2006] que podría confundir tiene que ver con las características del conocimiento científico:

La teoría del cambio de las especies propuesta por Lamarck influyó en el pensamiento evolutivo durante gran parte del siglo XIX, pero las nuevas ideas darwinianas demostraron que era INCORRECTA [Guillen, 2006, p.63].

Como ya se explicó anteriormente, Guillén [2006] muestra una postura realista científica, ya que considera que la teoría de la evolución es correcta, y por lo tanto, real y verdadera. Sin embargo, esta afirmación podría confundir a los estudiantes que no tienen algún conocimiento de filosofía de la ciencia y, por lo tanto, no pueden reflexionar con argumentos sobre las posturas filosóficas.

- 3) Un elemento textual de Guillen [2006] que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas

Darwin señaló que “la naturaleza SELECCIONA a los individuos mejor adaptados para sobrevivir y reproducirse”. A este proceso le llamó “selección natural”. La selección de los individuos impide que una especie se multiplique ilimitadamente” [Guillen, 2006, p.63].

Como ya se explicó anteriormente, el estudiante podría confundirse y considerar a la selección natural como un agente con propósitos y estrategias; por lo que la

⁶² Guillén, F. (2006). *Ciencias 1. Biología* (1ª ed.). México: Santillana.

⁶³ Se analizaron las páginas 61-71

concepción alternativa que se podría propiciar, favorecer, o reforzar sería el «finalismo implícito».

En otro párrafo Guillén [2006] escribe:

Ahora que ya conoces los factores que intervienen en el proceso evolutivo, podemos concluir que la biodiversidad de especies en los diferentes ecosistemas se debe a la variabilidad genética que presentan los organismos y a LA SELECCIÓN NATURAL QUE EL MEDIO EJERCE SOBRE ESTOS [Guillen, 2006, p.74].

Este párrafo podría confundir a los estudiantes porque el medio no ejerce la selección natural, de hecho, no hay ningún agente seleccionador, como ya se explicó anteriormente.

- 4) Además, el texto se refiere a la selección natural como una fuerza, lo que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas:

La selección natural es la FUERZA promotora del cambio en las poblaciones y ACTÚA sobre su variabilidad genética [Guillen, 2006, p.63].

“Una de las metáforas más comunes y sutiles de la selección natural es comprenderla precisamente como una fuerza y, en relación con esto referirse a “presiones” selectivas, insistir en su direccional, afirmar que tiene cierta “intensidad”, o que, “actúa sobre” algo. Una comprensión integrada en una teoría evolutiva que se presenta como una “teoría de fuerza” que comienza con una afirmación acerca de lo que le ocurrirá al sistema cuando ninguna fuerza actúe sobre él [Sober, 1993, citado en, Vilas, 2012, p.32]. Las leyes del movimiento newtonianas actuaban desde fuera sobre una materia esencialmente inerte. Análogamente, entender la selección natural como una fuerza supone considerar que el estado fundamental de la naturaleza es estático. El sistema no se mueve, no evoluciona, si no actúa una fuerza sobre él. Semejante visión de la naturaleza está ejemplificada en el modelo de Hardy-Weinberg, según el cual si

no actúa una fuerza evolutiva sobre la población, ya sea la selección natural, la deriva genética, la migración..., no se producirá cambio genético en el tiempo. El equilibrio de Hardy-Weinberg especifica así el estado de fuerza cero. Pero el estado fundamental de la naturaleza dista mucho de ser estático, pues una población natural cualquiera está derivando continuamente. En este sentido, puede afirmarse que ninguna población natural se encuentra en equilibrio Hardy-Weinberg. Y ese continuo dinamismo que caracteriza a las poblaciones naturales puede causar la reproducción diferencial de genotipos, y así un cambio evolutivo aleatorio. La selección natural representaría simplemente un sesgo en dicho proceso” [Vilas, 2012, pp.32, 33].

Un riesgo que acompaña a la no identificación de esta metáfora es suponer que una fuerza evolutiva se comporta como lo haría una fuerza física, ya que, por ejemplo, no existe necesariamente una relación aditiva entre diferentes factores evolutivos, ni estos se comportan como si fuesen vectores”. (...) Sin embargo, una vez más, conviene tener en cuenta que dicha asunción responde a una idealización [Vilas, 2012, p.33].

Para la autora de esta tesis, concebir a la selección natural como una fuerza, es teleológico (una fuerza que impulsa a...). Además, la idea de la selección como una fuerza implica que esta es la que “selecciona”, sin embargo, la selección es un proceso en el que interactúan la variación y el ambiente, y estrictamente hablando, no hay ningún agente seleccionador implicado en esta. La concepción alternativa que este enunciado podría reforzar es el «finalismo implícito».

- 5)** Una afirmación de Guillen [2006] que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas, se relaciona con el concepto de adaptación:

La lucha por la supervivencia provoca que los organismos que menos SE ADAPTAN a un medio natural específico desaparezcan y permite que los mejor adaptados se reproduzcan” [Guillén, 2006, p.63].

Entonces podemos definir adaptación como el PROCESO por el cual los organismos adquieren la capacidad de sobrevivir en determinadas condiciones ambientales” [Guillén, 2006, p.63].

En estos párrafos se utiliza el concepto adaptación como si fuera un proceso, es decir, como un sinónimo de selección natural. Como ya se explicó anteriormente, esto podría ser confuso para los estudiantes y propiciar, favorecer, o reforzar la concepción alternativa: «finalismo implícito».

6) Además, Guillén escribe:

¿Te imaginas la inmensa cantidad de animales y plantas PERFECTAMENTE ADAPTADAS a su medio que podemos encontrar en México?

Este enunciado dice que las plantas y animales están “perfectamente adaptados”, lo cual es completamente erróneo. El término “perfecto” significa: “Que posee el grado máximo de una determinada cualidad o defecto” [RAE]. Una adaptación jamás será perfecta porque está sujeta a continuos cambios y su eficacia es relativa, es decir, una adaptación es “más favorable que otra” de acuerdo a determinado ambiente en un momento dado.

7) Un elemento textual que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas es:

Las ballenas, los delfines, los lobos marinos y las focas, a pesar de ser mamíferos y tener pulmones, HAN DESARROLLADO la capacidad de permanecer mucho tiempo debajo del agua. Igual que las tortugas marinas, tienen aletas laterales y una forma hidrodinámica PARA desplazarse a altas velocidades en el mar [Guillen, 2006, p.70].

Guillen afirma que los mamíferos “han desarrollado...”, pero no aclara que ha sido por selección natural, por lo que el texto podría propiciar, favorecer, o

reforzar el “cambio individual”. Además agrega que las adaptaciones son “para...”, lo que podría propiciar, favorecer, o reforzar el “finalismo implícito”.

3.4 LIBRO 4. Limón, Mejía y Aguilera⁶⁴⁶⁵

- 1) Un elemento textual no facilita el aprendizaje de la biología evolutiva es que no se hace concreto el concepto de «tiempo geológico».
- 2) Tres elementos textuales que no corresponden a la biología evolutiva tienen que ver con el concepto de adaptación:

Al observar detenidamente a los pinzones, a Darwin le asombró cómo cada especie estaba PERFECTAMENTE ADAPTADA para comer un alimento específico (...) [Limón et al., 2006, p.47].

(...) algunos individuos poseen variaciones o características que les permiten ADAPTARSE a su medio, sobrevivir, llegar a adultos y reproducirse [Limón et al., 2006, p.47].

LA ADAPTACIÓN ES UN CAMBIO producido en un ser vivo por selección natural para realizar una función determinada [Limón et al., 2006, p.47].

Como se explicó anteriormente, utilizar el término adaptación como verbo es teleológico. Además las adaptaciones no son perfectas.

- 3) Un elemento textual que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas tiene que ver con el concepto de selección natural.

(...) pero que es el ambiente (depredadores, clima, enfermedades, etc.) el que se encarga de “SELECCIONAR” aquellos cuyas características les permitan sobrevivir” [Limón et al., 2006, p.49].

⁶⁴ Limón, S., Mejía, J., y Aguilera, J. (2008). *1 Secundaria. Biología. Ciencias* (3ª ed.). México: Castillo.

⁶⁵ Se analizaron las páginas 45-51

Ya se explicó anteriormente que la selección natural —como agente seleccionador—, es una metáfora, sin embargo, esto debe hacerse explícito, de lo contrario el estudiante podría confundirse y considerar que la selección natural es un agente con propósitos y estrategias; por lo que la concepción alternativa que se podría propiciar, favorecer, o reforzar sería el «finalismo implícito».

- 4) Un elemento textual que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas es:

Darwin explicó que las características adaptativas se van acumulando de generación en generación; por ejemplo, si una población de aves tiene picos suaves y pequeños, pero NECESITA tener picos fuerte y grandes para poder comer semillas muy duras, sólo sobrevivirán quienes tengan esta característica, que les transmitirán a sus descendientes (...)" [Limón et al., 2006, p.50].

Las concepciones alternativas que este texto podría propiciar, favorecer, o reforzar son el “finalismo explícito” y la “inducción ambiental”. Los organismos no evolucionan de acuerdo a ciertas necesidades predeterminadas.

- 5) Un elemento textual que podría propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas es:

Uno de ellos es que las moscas SE HACEN RESISTENTES a los insecticidas” “[Limón et al., 2006, p.47].

Las concepciones alternativas que este enunciado podría propiciar, favorecer, o reforzar son el “finalismo explícito”, la “inducción ambiental” y el “cambio individual”.

RESULTADOS GENERALES:

Con los resultados de esta investigación se realizó una tabla en la que se organizaron por categorías los elementos textuales que podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas y los elementos textuales que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva. Se dice que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva porque son elementos que no concuerdan con los conocimientos de esta disciplina, se puede decir que son elementos inadecuados.

Categorías	Barahona	Cedillo et al.	Guillén	Limón et al.
Finalismo explícito				X
Finalismo implícito	X	X	X	
Cambio individual	X	X		X
Inducción ambiental	X	X		X
Negación variacional		X		
Selección natural como agente		X	X	X
Selección natural como fuerza			X	
Término “lucha por la existencia”	X			
Adaptación como proceso	X		X	X
Adaptación perfecta			X	X
Tiempo geológico abstracto	X	X		X
Sin la variación	X	X	X	
Postura realista científica		X	X	

Estas categorías significan:

Finalismo explícito: “(...) esta categoría supone apelación explícita y directa a las nociones de fin, meta, objetivo o necesidad” [González, 2011, pp.425, 426].

Finalismo implícito: En algunas declaraciones de los jóvenes “no hay referencias explícitas a fines pero la construcción del texto puede interpretarse como la expresión de un pensamiento teleológico [González, 2011, p.427]

.Cambio individual: Cambio individual: Son “expresiones de la TSC (teleología del sentido común) porque el cambio individual al que refieren los estudiantes siempre está orientado a satisfacer una necesidad, a resolver un problema que amenaza la supervivencia del organismo [González, 2011, pp.426, 427]

Inducción ambiental: Esta concepción “implica un razonamiento teleológico porque el cambio inducido es siempre adaptativo” [González, 2011, p.427]

Negación variacional: Esta categoría hace referencia a la dificultad de los estudiantes para concebir el hecho de que un individuo nazca con un nuevo rasgo que resulte adaptativo en relación con un factor ambiental con el cual la especie no tiene experiencia previa [González, 2011, p.428]

Selección natural como agente: Para Darwin la selección natural es una metáfora; fue imaginada por él “como una analogía con la selección artificial realizada por el hombre en la formación de razas domésticas. La naturaleza escogería, a través de la selección natural, aquellos organismos con las variantes fenotípicas que le resultan más favorables en su adecuación al ambiente, de manera análoga a como el hombre selecciona los rasgos que le son de interés para realizar sus intenciones [Vilas, 2012, p.27].

.Selección natural como fuerza: “Una de las metáforas más comunes y sutiles de la selección natural es comprenderla precisamente como una fuerza y, en relación con esto referirse a “presiones” selectivas, insistir en su direccional, afirmar que tiene cierta “intensidad”, o que, “actúa sobre” algo [Sober, 1993, citado en, Vilas, 2012, p.32]. La idea de la selección como una fuerza implica que esta es la que “selecciona”, sin embargo, la selección es un proceso en el que interactúan la variación y el ambiente, y

estrictamente hablando, no hay ningún agente seleccionador implicado en esta. Para la autora de esta tesis, concebir a la selección natural como una fuerza, es teleológico (una fuerza que impulsa a...).

Término “lucha por la existencia”: “La metáfora de la supervivencia de los más aptos destaca del proceso evolutivo la idea de lucha por la existencia. En la naturaleza reinaría el caos a nivel individual, cada uno lucharía afirmando su propia vida por encima de todo, sin otro afán que la supervivencia y el poder contribuir con sus genes a la constitución de la siguiente generación” [Vilas, 2012, pp.27, 28].

Adaptación como proceso: se utiliza el concepto adaptación como si fuera un proceso, es decir, como un sinónimo de selección natural. Esta definición de selección natural es teleológica.

Adaptación perfecta: El término “perfecto” significa: “Que posee el grado máximo de una determinada cualidad o defecto” [RAE]. Una adaptación jamás será perfecta porque está sujeta a continuos cambios y su eficacia es relativa, es decir, una adaptación es “más favorable que otra” de acuerdo a determinado ambiente en un momento dado.

Tiempo geológico abstracto: Es difícil que los alumnos comprendan el concepto de tiempo geológico de manera abstracta, es necesario utilizar el espacio para hacerlo concreto.

No se enfatiza la variación: la variación es la base de la evolución y debe ser el concepto que se aborde primero en la enseñanza [Hernández et al., 2009, pp.112-114].

Postura realista científica: el realista científico sostiene que los objetos, estados y procesos que postulan ciertas teorías científicas realmente existen, y que las teorías tienen un valor de verdad en el sentido de la correspondencia [Pérez, 1999, p.149].

CONCLUSIONES

- ⇒ Se cumple la hipótesis: Los libros de texto de biología de secundaria — específicamente 4 de ellos— Sí podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes. Además algo novedoso y muy relevante que resulta de esta investigación es que todos los libros presentan ciertos elementos textuales recurrentes que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva. Se dice que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva porque son elementos que no concuerdan con los conocimientos de esta disciplina, se puede decir que son elementos inadecuados. Estos se pudieron categorizar por repetirse en todos los libros.
- ⇒ Esta investigación puede ser útil para una adecuada enseñanza de la biología evolutiva, debido a que le da a los profesores de México elementos teóricos que pueden servirles como herramientas al momento de seleccionar y emplear el libro de texto de biología con el que orientarán su clase. Estos elementos teóricos son los ejemplos de concepciones alternativas y de ciertos elementos textuales recurrentes (y por lo tanto categorizables) que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva. Se dice que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva porque son elementos que no concuerdan con los conocimientos a esta disciplina, se puede decir que son elementos inadecuados. Los profesores pueden leer esta investigación y aprender los resultados para después emplearlos como ejemplos; de hecho independientemente del libro que seleccionen, tendrán la facilidad de identificar algunas concepciones alternativas y algunos elementos textuales importantes que no permiten la comprensión de la biología evolutiva.
- ⇒ Los libros de texto de biología de secundaria —específicamente 4 de ellos—sí podrían propiciar, favorecer, o reforzar concepciones alternativas de conceptos de la evolución biológica en los estudiantes. Estas son:

- Finalismo explícito
- Finalismo implícito
- Cambio individual
- Inducción ambiental
- Negación variacional

⇒ Además se identificaron ciertos elementos textuales que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva. Se dice que no permiten el adecuado aprendizaje de la biología evolutiva porque son conocimientos que no concuerdan con los conocimientos de esta disciplina, se puede decir que son elementos inadecuados Estas son:

- Selección natural como agente seleccionador
- Selección natural como fuerza
- Término “lucha por la existencia”
- Adaptación como proceso
- Adaptación perfecta
- Tiempo geológico abstracto
- No se enfatiza la variación
- Postura realista científica

⇒ Para poder elaborar un libro de texto de secundaria de acuerdo a los conocimientos de la biología evolutiva, es fundamental comprender ampliamente la teoría evolutiva (así como sus limitaciones). Para este fin se debe recurrir a la formación de un equipo de trabajo conformado por biólogos evolutivos, pedagogos, y profesores que apliquen de forma integral sus respectivos conocimientos sobre biología evolutiva, concepciones alternativas de la evolución biológica, y enseñanza y concepciones alternativas en general.

⇒ La extensión e importancia que se le otorga al tema de la evolución biológica en el plan de estudios de la educación secundaria en México es insuficiente. Tendría que hacerse una profunda revisión del mismo, para, mediante importantes modificaciones, potenciar el aprendizaje de los alumnos en este tema.

Referencias bibliograficas

- ✓ Barahona, A. [2012]. *Ciencias 1. Biología. Conectando entornos* (1ª ed.). México: SM.
- ✓ Cedillo, C., Mota, E., Bonfil, C., Garay, A. [2006]. *Ciencias 1. Biología*. México: Santillana.
- ✓ Dawkins, R. [1998]. *Unweaving the rainbow. Science, delusion and the appetite for wonder*. USA: Mariner Books
- ✓ Dobzhansky, T., Ayala, F., Ledyard-Stebbins, G. [1993]. *Evolución* (1ª ed.). Barcelona: Ediciones Omega.
- ✓ Futuyma, D. [2009]. *Evolution* (2nd ed.). Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- ✓ Futuyma, D. [1998]. *Evolutionary biology* (3th ed.). Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.
- ✓ Gould, S.J. [2002]. *La estructura de la teoría de la evolución* (3ª ed.). Barcelona: Tusquets.
- ✓ González, L. [2010]. La teoría de la evolución. En E. Meinardi (Ed.), *Educación en ciencias* (1ª ed., 225-255). Buenos Aires: Paidós.
- ✓ González, L. [2011]. *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*. Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área Ciencias Biológicas. Tomo 1. Buenos Aires.

- ✓ Guillén, F. [2006]. *Ciencias 1. Biología*. México: Santillana.
- ✓ Hall, B. and Hallgrimsson, B. [2008]. *Strickberger's Evolution* (4th ed.). Massachusetts: Jones and Bartlett.
- ✓ Hernández, V.R. [2011]. *Tipos y causas de la variación biológica: un análisis conceptual*. Tesis presentada para optar al título de Biólogo. México: UNAM.
- ✓ Jiménez, L. et al. [2007]. *Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol.II*. México: Pearson Educación
- ✓ Limón, S., Mejía, J., y Aguilera, J. [2006]. *1º de secundaria. Biología. Ciencias*. México: Castillo.
- ✓ Moreno, J. [2008]. *Los retos actuales del darwinismo ¿Una teoría en crisis?* España: Editorial Síntesis.
- ✓ Muñoz, J. [2009]. Introducción. En J. Muñoz (Coord.), *Contra el oscurantismo: defensa de la laicidad, la educación sexual y el evolucionismo* (17-21). México: UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
- ✓ Mayr, E. [2001]. *What evolution is*. U.S.A: Basic Books
- ✓ Muñoz, J. [2009]. Introducción. En J. Muñoz (Coord.), *Contra el oscurantismo: defensa de la laicidad, la educación sexual y el evolucionismo* (17-21). México: UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.

- ✓ Pérez, A. [1999]. *Kuhn y el cambio científico*. Fondo de Cultura Económica: México.
- ✓ Ridley, M. [1996]. *Evolution* (2nd ed.) U.S.A: Blackwell Science
- ✓ Sánchez, C. [2000]. La enseñanza de la teoría de la evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Referencias hemerográficas

- ✓ Astolfi, J. [1994]. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las ciencias*, 12(2), 206-215.
- ✓ Astolfi, J. [1998]. El tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos. *Revista educación y pedagogía*, XI(25),151-171.
- ✓ Bañas, C., Mellado, V., Ruiz, C. [2004]. Los libros de texto y las ideas alternativas sobre la energía del alumnado de primer ciclo de educación secundaria obligatoria. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21(3), 296-312.
- ✓ Brem S., Ranney M., Schindel J. [2003]. Perceived Consequences of Evolution: College Students Perceive Negative Personal and Social Impact in Evolutionary Theory. *Science Education*, 2(87), 181-206.
- ✓ Campanario, J [2001]. ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. *Enseñanza de las ciencias*, 3(19), 351-395.

- ✓ R.W. de Camilloni, A. [2008]. Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza (Prólogo). En A. R.W. de Camilloni (Comp.), *Los obstáculos epistemológicos en la enseñanza*. España: Gedisa editorial.
- ✓ Tidon, R., Lewontin, R. [2004]. Teaching evolutionary biology. *Genetics and Molecular Biology*, 27(1), 124-131.
- ✓ Vázquez, A y Manassero Mas, M. [2009]. Características del conocimiento científico: creencias de los estudiantes. *Enseñanza de las ciencias*, 3(17), 377-363.
- ✓ Vilas, R. [2012]. Metáforas de la selección natural. *ÁGORA*, 31 (1), 25-40.

Referencias de páginas electrónicas

- ✓ González, L y Meinardi, E. [2005]. Estudio de las concepciones acerca de la teoría de la evolución en estudiantes, profesores y licenciados en Biología. En Tercer Encuentro de Investigadores en Didáctica de la Biología. Extraído desde http://www.adbia.com.ar/eidibi_archivos/aportaciones/paneles/trabajos_completos/gonzalezgalli_tesis.pdf
- ✓ Ideas previas. <http://ideasprevias.cinstrum.unam.mx>
- ✓ Laboratorio de Evolución. <http://evolucion.fcie.edu.uy>
- ✓ Mexicanos Primero [2009]. Contra la Pared. Estado de la Educación en México 2009. Extraído desde www.mexicanosprimero.org
- ✓ Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU). [1999]. Conferencia Mundial sobre la Ciencia para el Siglo XXI: Un nuevo compromiso. Declaración

sobre la Ciencia y el uso del saber científico. Budapest (Hungría). Extraído desde <http://www.unesco.org>

- ✓ Real Academia de la Lengua (RAE). <http://www.rae.es/rae.html>
- ✓ Noguera, R. Comunicación oral.

