



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Centro de Estudios de Postgrado*

Trabajo Fin de Máster

# **EVOLUCIÓN BIOLÓGICA EN BACHILLERATO**

**Alumno/a: Puerta Martos, David**

**Tutor/a: Prof. D. Ana María Abril Gallego**  
**Dpto: Didáctica de las ciencias**

**Junio, 2019**



*Universidad de Jaén*  
Centro de Estudios de Postgrado

## Trabajo Fin de Máster

# **Evolución biológica en Bachillerato**

**David Puerta Martos**

**JUNIO, 2019**

En agradecimiento a mis padres y a mis compañeros de trabajo y laboratorio.

## Tabla de contenido

1.	Resumen y palabras clave.....	5
1.1	Resumen y palabras clave (Español) .....	5
1.2	Resumen y palabras clave (Inglés) .....	5
2.	Introducción.....	6
3.	Fundamentación epistemológica .....	7
3.1	Antecedentes y estado de la cuestión .....	7
3.1.1	Historia de la biología evolutiva .....	7
3.1.2	Conceptos clave: evolución, adaptación y herencia.....	10
3.1.3	Evidencias de la evolución .....	14
3.1.4	Selección natural y variación .....	20
3.1.5	Evolución y biodiversidad .....	24
3.2	Enfoque didáctico y su utilidad práctica .....	30
3.2.1	La enseñanza de la evolución: Cultura, religión y política.....	30
3.2.2	Ideas previas sobre evolución.....	33
3.2.3	Métodos de enseñanza para ciencias.....	38
3.2.4	Enseñanza de la evolución en el sistema educativo español .....	41
4.	Proyección didáctica .....	46
4.1	Introducción .....	46
4.2	Contextualización.....	47
4.2.1	Descripción del centro .....	47
4.2.2	Descripción del aula.....	48
4.3	Aspectos psicopedagógicos del alumnado y de la enseñanza.....	48
4.4	Objetivos .....	49
4.4.1	Objetivos generales de etapa (OGE).....	49
4.4.2	Objetivos generales de área (OGA) .....	50
4.4.3	Objetivos didácticos (OD) .....	51
4.5	Competencias.....	51
4.6	Contenidos .....	54
4.6.1	Contenidos conceptuales (CC) .....	54

4.6.2	Contenidos actitudinales (CA) .....	54
4.6.3	Contenidos procedimentales (CP) .....	55
4.7	Metodología .....	55
4.7.1	Principios metodológicos.....	55
4.7.2	Temporalización.....	56
4.7.3	Desarrollo y secuenciación de las actividades.....	57
4.8	Interdisciplinaridad .....	67
4.9	Evaluación .....	67
4.9.1	Criterios de evaluación (CE).....	67
4.9.2	Sistema de evaluación .....	68
4.9.3	Evaluación del proceso .....	68
4.9.4	Criterios de calificación.....	69
4.10	Atención al alumnado con Necesidades Específicas de Apoyo Educativo...	69
5.	Bibliografía.....	70
6.	Anexos.....	75
	ANEXO 1: Contenidos de evolución en Biología y Geología de 4º ESO (LOE) .....	75
	ANEXO 2: Elementos curriculares de evolución en Biología y Geología de 4º ESO (LOMCE) .....	76
	ANEXO 3: Elementos curriculares de evolución en Biología de 2º de Bachiller (LOMCE) .....	77
	ANEXO 4: Encuesta sobre ideas previas .....	78
	ANEXO 5: Secuencia didáctica para desterrar ideas previas Lamarckistas .....	79
	ANEXO 6: Demostración dramática de la selección natural.....	80
	ANEXO 7: Actividad de selección natural .....	81
	ANEXO 8: Actividad interactiva sobre consecuencias de la evolución.....	85
	ANEXO 9. Prueba escrita final.....	87
	ANEXO 10: Actividades de refuerzo y recuperación.....	89
	ANEXO 11: Relación de objetivos, contenidos, criterios de evaluación y competencias clave.....	92

# 1. Resumen y palabras clave

## 1.1 Resumen y palabras clave (Español)

El trabajo comienza abordando la fundamentación teórica sobre evolución, la cual consiste en un breve repaso a la historia de la biología evolutiva y el desarrollo de los conceptos clave sobre evolución (Evidencias de la evolución, selección natural y biodiversidad). Acto seguido, se desarrolla el marco teórico sobre el enfoque didáctico del tema, haciendo mención a las ideas previas sobre evolución, a metodología para didáctica de evolución y a la enseñanza de evolución en diferentes etapas del sistema educativo español.

Posteriormente, se da paso a la proyección didáctica de esta unidad sobre Evolución, dirigida al alumnado de Biología de 2º de Bachillerato. Se contextualiza el centro, el aula y los aspectos psicopedagógicos a tener en cuenta. A continuación se detallan los elementos curriculares (Objetivos, Competencias, Contenidos, Metodología y Evaluación). En el apartado de Metodología se realiza una temporalización y se detalla el desarrollo individual de cada sesión, incluyendo actividades, propuestas e intervenciones didácticas suministradas en forma digital o en Anexos. Además se tratan aspectos como la interdisciplinariedad y la atención al alumnado con necesidades especiales.

**Palabras clave:** Evolución, Darwin, Selección natural, Bachillerato, Ideas previas

## 1.2 Resumen y palabras clave (Inglés)

This work start by addressing the theoretical foundation on biological evolution, a brief review of the history of evolutionary biology is made and then evolutive concepts are explained (Evidence of evolution, natural selection and biodiversity). Later on, the theoretical foundation about the didactic approach of this subject is developed, making reference to the misconceptions about evolution, methodology for didactic of evolution and the Spanish educational system's view about biological evolution.

The didactic projection of this unit is oriented to biology students in the course before entering university studies. Therefore, we contextualize the center, the classroom and the psych-pedagogical aspects to be taken into account. After that, curricular elements are detailed (Objectives, Competences, Contents, Methodology and Evaluation). In the Methodology section, a temporalization is made and the individual development of each session is detailed, including activities, proposals and didactic interventions which are provided in digital form or in Annexes. In addition, aspects such as interdisciplinarity and attention to special needs students are treated.

**Keywords:** Evolution, Darwin, Natural selection, Pre-University studies, misconceptions

## 2. Introducción

Esta memoria se enmarca como Trabajo de fin de Máster realizado para el “Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas” de la Universidad de Jaén. Se aborda una unidad didáctica correspondiente a la especialidad de “Biología y Geología”: **La Evolución**. Este tema presenta dificultades para el alumnado debido al grado de abstracción requerido para entenderlo y a las ideas previas (“*misconceptions*”). Estas se presentan especialmente en forma de ideas alternativas al mecanismo de selección natural, en la concepción de la ciencia en sí y en el propósito y consecuencias de la evolución.

La evolución es un tema central en Ciencias Naturales, es la causante de la biodiversidad, es esencial para comprender procesos sanitarios y agrícolas, es vital para conocer pasado, presente y futuro de los organismos vivos y sienta la cimentación de multitud de procesos biológicos a nivel molecular y celular.

Una de las ideas más citadas en biología, es la siguiente (Dobzhansky, 2013):

“Nada en biología tiene sentido excepto bajo la luz de la evolución”

Así, la comprensión de esta unidad didáctica resulta de gran importancia para una correcta formación científica. De tal manera, se desarrolla la parte teórica y práctica de este trabajo con objetivo principal de que el alumnado desarrolle un aprendizaje significativo. El Trabajo Fin de Máster queda dividido en:

- (1) El marco teórico que trata la historia de la biología evolutiva y los conceptos básicos de Evolución. Posteriormente se contextualiza el marco teórico de la enseñanza de la Evolución, tratándose las ideas previas, métodos innovadores para su enseñanza y su trato a lo largo de diferentes etapas del Sistema Educativo Español.
- (2) La proyección didáctica queda enmarcada en el bloque de contenido 3 (Genética y Evolución) de Biología de 2º de Bachillerato, especificado en la orden del 14 de julio de 2016 por la que se desarrolla el currículo correspondiente al Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Esta parte desarrolla la unidad didáctica, contextualiza el centro, el aula y los aspectos psicopedagógicos de los alumnos, desarrolla los elementos curriculares y el apartado de interdisciplinaridad, concreta las actividades a realizar en cada sesión, la evaluación y el trato al alumnado con necesidades especiales.

### 3. Fundamentación epistemológica

#### 3.1 Antecedentes y estado de la cuestión

##### 3.1.1 Historia de la biología evolutiva

¿Qué somos? ¿De dónde venimos? ¿Hacia dónde vamos? Son preguntas trascendentales de la humanidad y repetidas por generaciones a lo largo de la historia. La respuesta que nuestros predecesores en la Tierra normalmente recibían era que Dios creó el mundo hace solo unos pocos miles de años y que no había cambiado desde entonces. Este tipo de pensamiento, denominado fijista, contemplaba las formas de vida como inmutables.

Sin embargo, algunos pensadores previos a Sócrates proponían que un tipo de organismo podía provenir de otro:

Anaximandro (610-545 a.C.) en su libro *“Sobre la Naturaleza”* señalaba que los primeros animales surgieron del agua o “limo” calentado por el sol, y del agua pasaron a la tierra, así, los hombres provenían de los peces.

Para Empédocles (495-444 a.C.), los seres vivos no nacen y mueren, si no que ocurre una reestructuración de sus elementos que se organizan en una disposición diferente. Este autor contemplaba el proceso de evolución de los seres vivos, aunque lo hacía desde una perspectiva alejada de la realidad científica.

Un concepto arcaico de evolución persistió en la época Romana con el trabajo del filósofo Lucrecio (99-55 a.C.), autor de la obra *“Sobre la naturaleza de las cosas”*. En esta obra se proponía que los organismos que mejor se adaptaban a su ambiente tenían más oportunidad de sobrevivir, por otra parte no contemplaba que nuevas especies evolucionaran a partir de otras y asumía al ser humano como superior al resto de animales.

En la época medieval, el pensamiento se organizaba en torno a la figura de Dios y todas las cosas tenían un papel en el orden cósmico divino. El pensamiento evolucionista no tuvo por tanto gran cabida hasta la llegada del siglo XVII y el método científico moderno. La clasificación introducida por Linneo en 1735, reconoce la naturaleza jerárquica de las relaciones entre especies, pero aún con un enfoque de propósito divino. En 1751, Maupertuis escribió sobre modificaciones naturales que ocurren en la reproducción y se acumulan a lo largo de las generaciones para dar lugar a otras especies. Erasmus Darwin (abuelo paterno de Charles Darwin) propuso que todos los animales de sangre caliente descendían de un solo microorganismo (Bowler, 1989).

Se destaca la visión de *Filosofía zoológica* (Lamarck, 1809), obra en la que Lamarck señalaba que las especies son mutables y que hay evidencia clara de progresión de las

formas simples de vida hacía las más complejas. Lamarck proponía que los seres vivos sufrían modificaciones en partes de su organismo generadas por las necesidades del medio ambiente, estos cambios eran heredables y pasaban a generaciones sucesivas. La visión de Lamarck tendrá especial relevancia en ámbito educativo, pues se observa paralelismo entre esta hipótesis y las ideas previas que tienen los alumnos (de todos los niveles educativos) sobre el mecanismo evolutivo (Gallego & Muñoz, 2015).

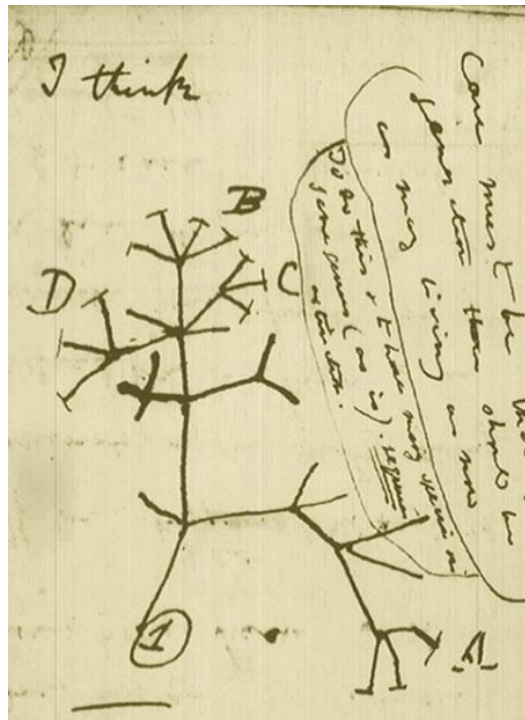
Posteriormente a Lamarck, Darwin revolucionó el concepto de evolución, su éxito se basó en la correcta descripción del mecanismo que guiaba la misma: la selección natural. Tres factores influenciaron en gran medida el trabajo de Darwin (Bowler, 1989):

1. El libro *“Ensayo sobre el principio de la población”* (1798) de Thomas Robert Malthus. En este ensayo demográfico se desarrolla el concepto de que la población aumenta de forma más rápida que los recursos, lo que lleva a una competición por estos.
2. Su expedición a bordo del famoso Beagle, en la que realizó un minucioso trabajo de campo y recopilación de muestras durante 5 años, descrito en el libro *“El viaje del Beagle”* (Darwin, 1839).
3. El trabajo de Alfred Russel Wallace, con sus respectivas expediciones en el río Amazonas y el archipiélago Malayo. Así, tras años de trabajo en su teoría de la evolución bajo el mecanismo de selección natural, Darwin recibió una carta de Wallace en el que el autor le describía el mecanismo de selección natural (1858). Poco tiempo después ambos autores decidirían publicar en conjunto un artículo en el que se describía dicho mecanismo y se sentaban las bases de la teoría de la evolución.

El trabajo de Darwin, con contribución y validación en paralelo de Wallace, quedó plasmado en una de las obras cumbres de la biología: *El origen de las especies* (Darwin, 1859). Los preceptos básicos de la teoría defendida eran los siguientes:

1. Los organismos producen más descendencia de la que el medio puede sostener.
2. Existe variabilidad en caracteres dentro de una misma especie.
3. Los recursos son limitados y se produce competencia por estos, sobreviviendo aquellos individuos con caracteres más favorables.

4. Los individuos con variedades favorables producen más descendencia, que heredan estas variaciones favorables.
5. Como resultado de la acumulación de variaciones favorables se originan nuevas especies (Ver **Figura 1** para boceto original de Darwin).



**Figura 1.** Boceto original de Charles Darwin incluido en su obra *Transmutación de las especies* (1837). Se puede observar la ramificación de las especies que evolucionan a partir de un ancestro común.

Las reacciones a la conexión de Darwin de evolución con selección natural fueron diferentes. La controversia se presentó sobre todo en el ámbito religioso y en el pueblo: La evolución contradecía la Biblia, pero algunos científicos la defendieron con fervor ante el ataque religioso. La selección natural no fue aceptada a ciegas por toda la comunidad científica, los científicos de finales del XIX y principios del XX se imaginaban la evolución como unidimensional, imaginaban que la evolución debía tener un patrón predecible y progresivo y buscaban mecanismos para explicarla de esta manera. Una de las principales objeciones a la teoría de Darwin es que no tenía una explicación sólida de la herencia: Darwin proponía que la herencia del padre y madre se fusionaban en el descendiente, según lo cual y como señalaron los críticos, la selección natural no podría operar correctamente. Si el material hereditario se fusionara (no se mantuviera independiente en los cromosomas paternos y maternos), los genes ventajosos o perjudiciales se diluirían con el paso de las generaciones. La ventaja o desventaja no sería tan significativa y la selección natural actuaría de forma más débil. (Bowler, 1989).

Otra objeción a nivel popular es que la selección natural explicaba la evolución por mecanismos de azar, lo cual era y es un problema de no entender el mecanismo de selección natural, que no ocurre de forma azarosa.

Desde principio del siglo XX se recuperaron los trabajos de Mendel y aproximadamente en la década de 1920 la genética Mendeliana estaba ampliamente extendida. Fisher (1919) demostró que la descripción de variación continua en las poblaciones estaba derivada de los principios Mendelianos. Huxley (1942) fundó las bases del Neodarwinismo actual asociando los principios mendelianos con la teoría de la selección natural de Darwin, finalizando así la antigua disputa entre seguidores de Mendel y de Darwin. Esta reconciliación inspiró una potentísima fuente de nueva investigación en genética y evolución que continua hasta nuestros días. El Neo-Darwinismo gradualmente se expandió a todas las áreas de la biología y se convirtió en ampliamente aceptado, ya que unificaba la genética, taxonomía, paleontología, embriología y morfología/anatomía comparativa (Ridley, 2004).

### 3.1.2 Conceptos clave: evolución, adaptación y herencia

**La evolución** es uno de los conceptos más poderosos en ciencias biológicas y se puede proclamar como la única teoría unificadora de la biología, permitiéndonos comprender temas como la genética molecular, la embriología, el origen de la vida e incluso biogeoquímica ambiental. De esta forma no es de extrañar que una de las citas más recurridas en biología evolutiva sea la siguiente:

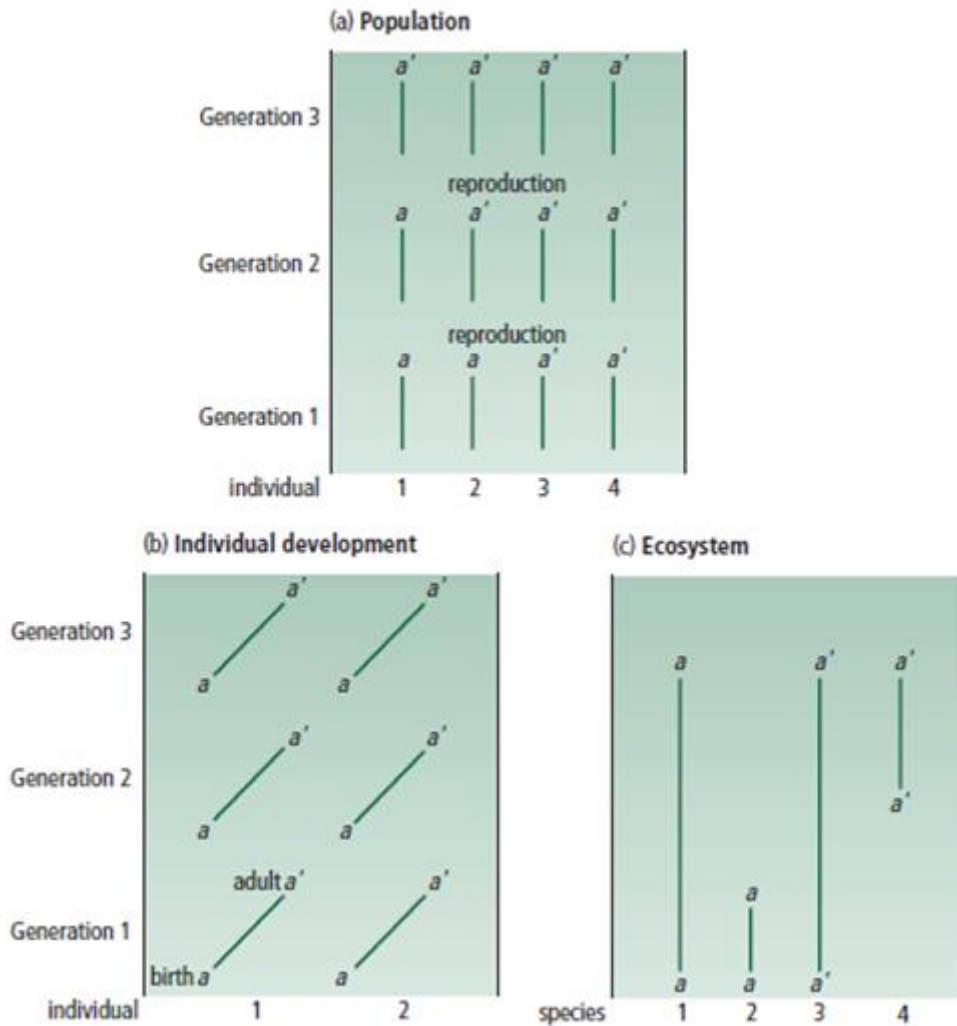
“Nada en biología tiene sentido excepto bajo la luz de la evolución”

(Dobzhansky, 2013)

Evolución, significa cambio, y en biología significa cambio en la forma y comportamiento de los organismos a lo largo de generaciones. El cambio ocurre a todos los niveles: genético-molecular, celular y macroscópico (en órganos y aparatos). Sin embargo, no todos los tipos de cambio biológico se incluyen en la definición de evolución, se trata solo del cambio entre generaciones dentro de una misma población. Se excluye así al cambio biológico que ocurre durante el desarrollo de un organismo. También se debe excluir al cambio de composición que ocurre en un ecosistema, ya que aunque se altere la proporción de individuos o especies no ocurre un cambio propiamente dicho sobre la población de una misma especie (al menos de forma directa). Ver **Figura 2**.

Darwin definió la evolución como “descendencia con modificación”, la palabra descendencia se refiere a la forma en que las modificaciones evolutivas ocurren en series de poblaciones que descienden las unas de las otras.

Las modificaciones evolutivas biológicas tienen algunas propiedades distintivas (Ridley, 2004): No tienen ningún propósito, ni son predecibles, sus detalles dependen del ambiente en el que una población viva y de las variaciones genéticas que haya y aparezcan de forma casi totalmente aleatoria. Otra propiedad importante es que la evolución biológica ocurre en un patrón repetitivo de ramificación, así diversas especies se originan de un mismo ancestro común como acertadamente esbozó Darwin (Ver **Figura 1**).



**Figura 2.** Tomada de (Ridley, 2004; p. 5). **(a)** Evolución en el sentido estricto de la palabra. Cada línea representa un organismo individual y se originan de la reproducción de otros individuos, la población ha evolucionado, ahora hay más individuos  $a'$ . **(b)** El desarrollo individual no es evolución en sentido estricto, la composición de la población no ha cambiado entre generaciones, el cambio (de  $a$  hasta  $a'$ ) no es evolutivo. **(c)** Los cambios en un ecosistema no son evolutivos en sentido estricto. Cada línea aquí representa una especie, la composición del ecosistema cambia, pero dentro de cada especie no hay evolución.

Algunos cambios que ocurren en política, economía, historia, tecnología y otros aspectos son referidos en ocasiones como “evolutivos”, se refieren principalmente que ha habido cambio a lo largo del tiempo y quizás sin dirección preconcebida.

**El concepto de adaptación** (Ridley, 2004; p. 6) se trata de una parte fundamental para entender la teoría evolutiva; ya que uno de los objetivos principales de la biología evolutiva es la comprensión y explicación de las formas de adaptación que encontramos en la naturaleza. Las adaptaciones se refieren a esas propiedades de los organismos que les permiten sobrevivir y reproducirse en la naturaleza. Un ejemplo, de gran agrado para Darwin, es el pájaro carpintero, el cual tiene un pico característico que le permite abrir agujeros en los árboles y por lo tanto alimentarse durante todo el año de los insectos que viven bajo la corteza y de la savia del árbol, además de abrir agujeros para anidar. Los pájaros carpinteros además presentan otras adaptaciones, como una larga lengua para extraer los insectos y garras largas y curvas para anclarse a la corteza. El pájaro carpintero tiene más probabilidades de sobrevivir en su hábitat natural debido al hecho de que posee estas múltiples adaptaciones.

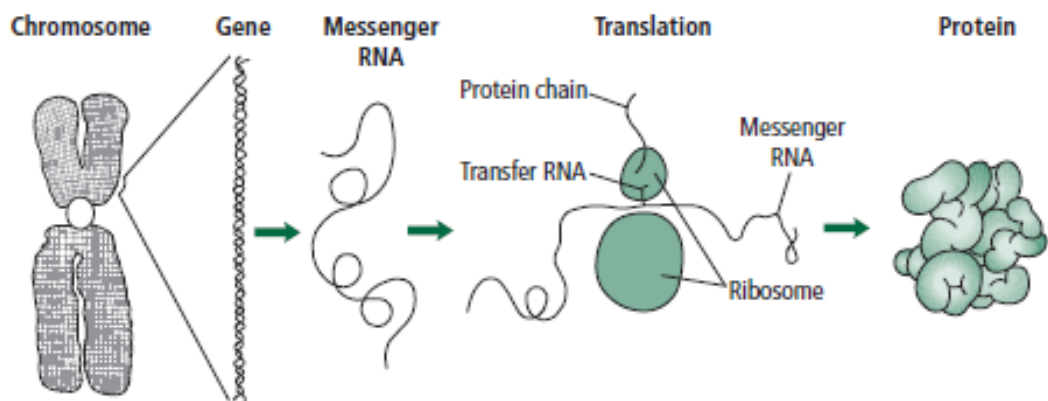
Las adaptaciones no son un concepto aislado que se refiere a algunas características especiales de los organismos, se aplican a casi cualquier parte del cuerpo. Por ejemplo en humanos, las manos están adaptadas para sujetar, ojos para ver, aparato digestivo para alimentarnos, aparato circulatorio para repartir nutrientes y oxígeno, piernas para movernos, etc...

Las adaptaciones son tan abrumadoramente comunes que Darwin las señaló como el problema clave que la teoría de la evolución tenía que resolver, para ello él propuso el mecanismo de selección natural: Algunos individuos de una población tienden a contribuir más descendencia que otros a la siguiente generación, por tanto, las características ventajosas incrementaran en frecuencia en la población con el paso del tiempo.

Para entender cómo se transmiten las adaptaciones, es fundamental introducir el **concepto de herencia** (Klug, Cummings, & Spencer, 2006; Pierce, 2006):

Entendemos el concepto de herencia como el paso de los rasgos y caracteres de los padres a la descendencia. La herencia está determinada por una molécula llamada ADN, que consiste en una secuencia de nucleótidos que contiene toda la información de cada organismo. La secuencia de ADN puede dividirse en regiones llamadas genes que codifican para proteínas. El código de la secuencia se lee para producir ARNm (transcripción) y posteriormente proteínas (traducción) que cumplen una función biológica (Ver **Figura 3**).

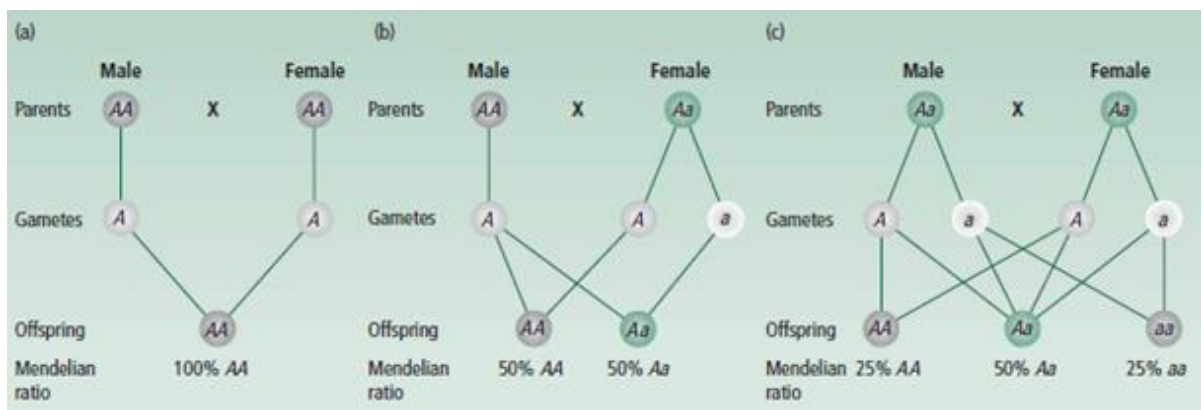
El ADN se encuentra en estructuras físicas llamadas cromosomas, cada individuo (diploide) presenta una serie de parejas de cromosomas. De cada pareja, un cromosoma proviene del padre y otro de la madre, esto implica que todos los organismos diploides tienen una pareja de todos sus genes. La combinación de genes de un individuo se denomina genotipo.



**Figura 3.** Tomada de (Ridley, 2004; p. 27). Transferencia de información en la célula. La secuencia de ADN codificante (genes) se transcribe a ARN mensajero, y posteriormente se traduce a proteínas en el ribosoma.

Cuando dos individuos, con genotipos determinados, se aparean, la proporción de genotipos de su descendencia aparece en un ratio Mendeliano predecible (Ver **Figura 4**). Diversos genes se preservan, en mayor o menor medida, en distintas generaciones bajo herencia Mendeliana, lo que permite a la selección natural operar.

Previamente a las teorías modernas se pensaba (de forma incorrecta incluso por el mismo Darwin) que el material hereditario paterno y materno se fusionaba en un individuo en lugar de preservarse por separado. Si esto fuese así, la selección natural sería mucho menos fuerte que bajo herencia mendeliana.



**Figura 4.** Tomada de (Ridley, 2004; p. 35). Distintos cruces: (a) AA x AA; (b) AA x Aa y (c) Aa x Aa y el ratio de genotipos esperados en la descendencia debido a la herencia mendeliana.

### 3.1.3 Evidencias de la evolución

Se detallaran en 5 sub-apartados (a, b, c, d y e):

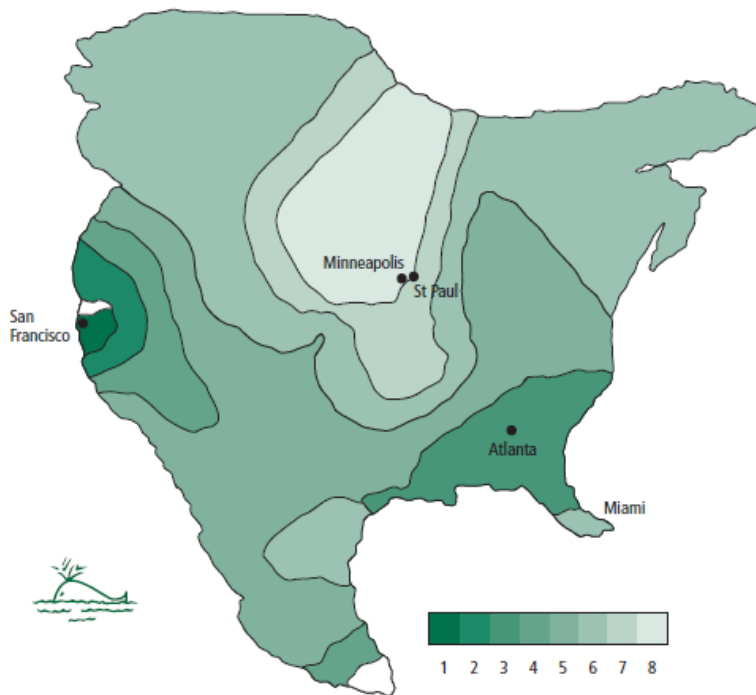
#### *a) La evolución, a pequeña escala, se puede observar a tiempo real*

La observación directa de un mecanismo es una de las evidencias más poderosas para demostrar su existencia. Los virus, bacterias y otros patógenos desarrollan resistencias a fármacos debido a procesos evolutivos. En un artículo (Schuurman, 1995) se describe qué ocurre cuando pacientes de SIDA se tratan con el fármaco 3TC:

Inicialmente las poblaciones del virus VIH disminuyen notablemente, pero con el paso de los días se empiezan a detectar cepas de VIH resistentes a 3TC, posteriormente las cepas de VIH resistentes incrementan en frecuencia. Finalmente, en 8 de 10 pacientes las cepas resistentes al fármaco aumentan hasta el 100% de la población viral a las 3 semanas de inicio del tratamiento, para los otros 2 pacientes tardaron 7 y 12 semanas. Este cambio de una población de virus VIH susceptible a 3TC a una resistente a 3TC es un ejemplo claro de evolución por selección natural a tiempo real.

Otros de ejemplos de evolución en tiempo humano son:

- La evolución de la polilla moteada (*Biston betularia*): En colecciones Británicas del siglo XVIII, la polilla era siempre de un color claro. Una variedad oscura se observó por primera vez en Manchester (1848), esta variedad incrementó en frecuencia hasta representar más del 90% de las poblaciones en las áreas contaminadas a mediados del siglo XX (Brakefield, 1987)
- Variaciones geográficas del gorrión común (*Passer domesticus*) en Norte América: Existen diferencias entre gorriónes de California (longitud media 76mm) y Canadá (longitud media 79mm), los cuales han evolucionado todos de una colonia de gorriónes introducida en Nueva York en 1852. Las diferencias ya estaban presentes en 1940, lo que significa que evolucionaron en menos de 100 generaciones (Johnston & Selander, 1971). Ver **Figura 5**



**Figura 5.** Tomada de (Ridley, 2004; p. 360). Tamaño de los gorriones comunes en Norte-América (8 para los más grandes, 1 para los más pequeños). Puntuación derivada de la media de 15 mediciones en distintos puntos del esqueleto. Todos ellos provienen de una misma colonia introducida en NY en 1852.

*b) La evolución se puede reproducir experimentalmente*

Si solo se permite reproducir a una pequeña parte de la población seleccionando un rasgo en común (por ejemplo se pueden seleccionar individuos de gran tamaño), en la siguiente generación la media de la población para ese rasgo cambiará en la dirección seleccionada. Si se seleccionan para reproducirse los organismos más grandes de la población, en la siguiente generación la población tendrá un tamaño medio mayor. Este procedimiento es rutinario en agricultura y ganadería. En un estudio (Hunt, 1955) se seleccionaron generaciones de ratas resistentes a caries, se seleccionaban las ratas que desarrollaban las caries en un estadio más avanzado de vida y se observó que en sucesivas generaciones las caries iban apareciendo de forma más tardía en la media de la población.

Otro ejemplo claro de la potencia de la selección artificial es el caso de los animales domésticos. Un caso representativo se encuentra en las variedades domésticas de perro conseguidas mediante selección artificial a partir de su ancestro salvaje, el lobo.

*c) Las observaciones a pequeña escala se pueden extrapolar*

La vida humana es muy corta para observar la mayoría de los procesos evolutivos, ya que estos ocurren en su mayoría en tiempo geológico. Pero los procesos observables en tiempo humano que ocurren en el VIH, ratas, polillas, perros... se pueden extrapolar. Si estos procesos evolutivos ocurren durante un período lo suficientemente largo de tiempo podrían originar todas las variedades modernas de vida a partir de un ancestro común.

Algunas corrientes anti-evolucionistas, afirman que la evolución puede ocurrir en cierto grado dentro de una especie, pero que no puede originar una nueva especie. En

las salamandras *Ensatina* de California, se puede observar un gradiente geográfico continuo de diferencias, desde diferencias intraespecie, pasando por variaciones regionales hasta especiación completa (Jackman & Wake, 1994).

Sin embargo, para demostrar la evolución no se necesita depender únicamente de la extrapolación de observaciones a pequeña escala. Existen otro tipo de evidencias que muestran que todos los organismos provienen de un ancestro común: El registro fósil y ciertas similitudes entre especies.

#### d) Homología entre especies

Según Hallgrímsson (2008) existen dos tipos de similitudes entre especies:

**Analogía:** Aquella similitud entre organismos que se da debido a requerimientos funcionales. Por ejemplo las alas de los pájaros, insectos y murciélagos que son necesarias para volar o la forma hidrodinámica de tiburones, peces y delfines que es necesaria para desplazarse por el agua.

**Homología:** Similitudes entre organismos no explicadas por requerimientos funcionales. Un ejemplo representativo es el de los tetrápodos (anfibios, reptiles, aves y mamíferos) y los 5 dedos en sus extremidades. Estas extremidades están adaptadas a multitud de ambientes y cumplen funciones muy diferentes, sin embargo presentan similitud en el número de dedos y en otras características (por ejemplo óseas, ver **Figura 6**). Algunos tetrápodos, como los caballos, elefantes y ciertas aves no presentan cinco dedos en su etapa adulta, pero durante el desarrollo embrionario sus extremidades se originan de precursores con cinco dedos para luego perder algunos de ellos.

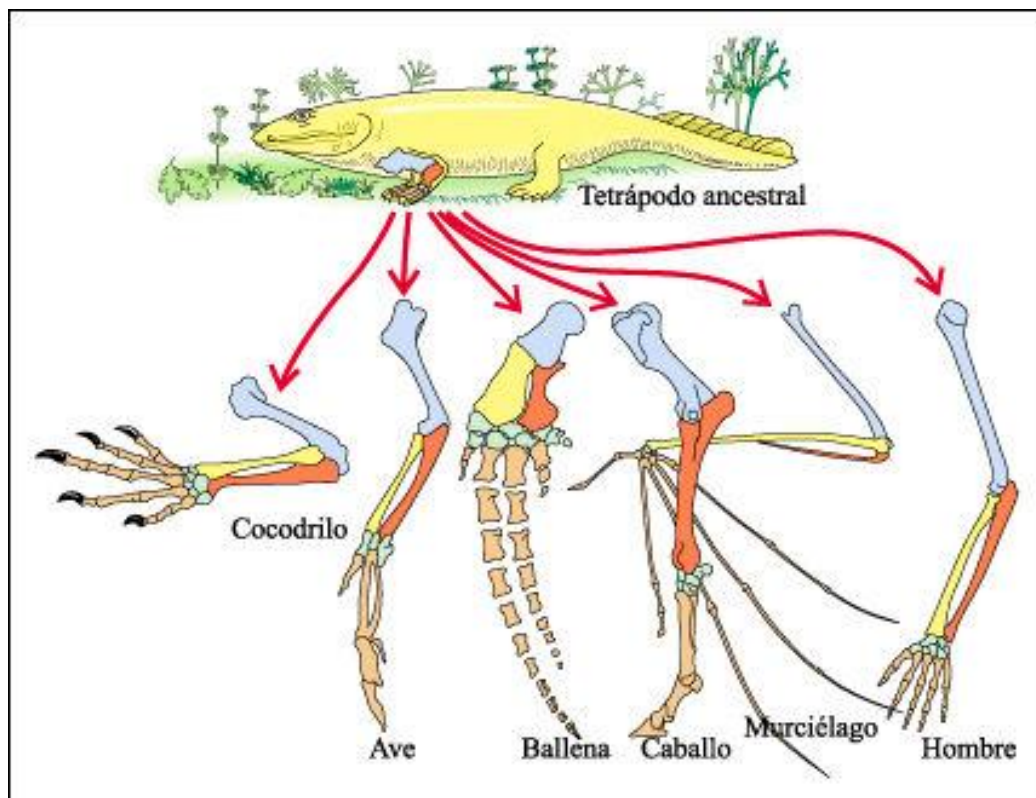
En época pre-Darwinista, se interpretaban estas homologías (similitudes no relacionadas con funcionalidad) como parte del “diseño” o “plan de la naturaleza”. Sin embargo, la explicación evolucionista es más simple, todos los tetrápodos provienen de un ancestro común con cinco dedos en sus extremidades y la evolución ha hecho que aparezcan variedades de estas extremidades con cinco dedos para cumplir distintas funciones, ya que es más simple que rehacer la extremidad desde cero.

La homología morfológica-estructural de las extremidades de los tetrápodos tiene ya una amplia distribución, pero a nivel molecular podemos encontrar homologías increíblemente extendidas, algunas de ellas incluyen a todos los organismos.

Un caso a destacar es la homología del código genético, el cual es universal para todos los seres vivos de la tierra. Si se inyecta ARN mensajero que codifica para hemoglobina de conejo en la bacteria *E. coli* (que no produce hemoglobina de forma natural), esta produce hemoglobina de conejo (Klug et al., 2006).

El triplete de nucleótidos no tiene ninguna afinidad química por su aminoácido y además no interactúa físicamente en la traducción del código, en un extremo del ARN de transferencia se porta el aminoácido y en el otro se reconoce el triplete del ARNm. Pero si el código genético no está químicamente determinado, ¿Por qué es igual en todas las especies? La explicación reconocida en la actualidad es que el código es arbitrario, es decir no tiene sentido alguno (en su origen), por lo tanto si varios organismos lo comparten es porque “lo aprendieron” de un ancestro común (Pierce, 2006).

El código genético evolucionó muy temprano en la historia de la vida, las codificaciones originales fueron accidentales pero una vez establecidas, se mantuvieron firmemente: Un individuo que no lea correctamente los tripletes de ARNm no tendría posibilidades de sobrevivir (por ejemplo un individuo que leyera el triplete UUG como glicina en lugar de leucina estropearía todas sus proteínas). Así el código genético es un “accidente congelado” (Crick, 1968) y es una fortísima evidencia de que toda la vida comparte un origen común.



**Figura 6.** Imagen de <http://4bq-naturalmente.blogspot.com/2014/09/homologia.html>

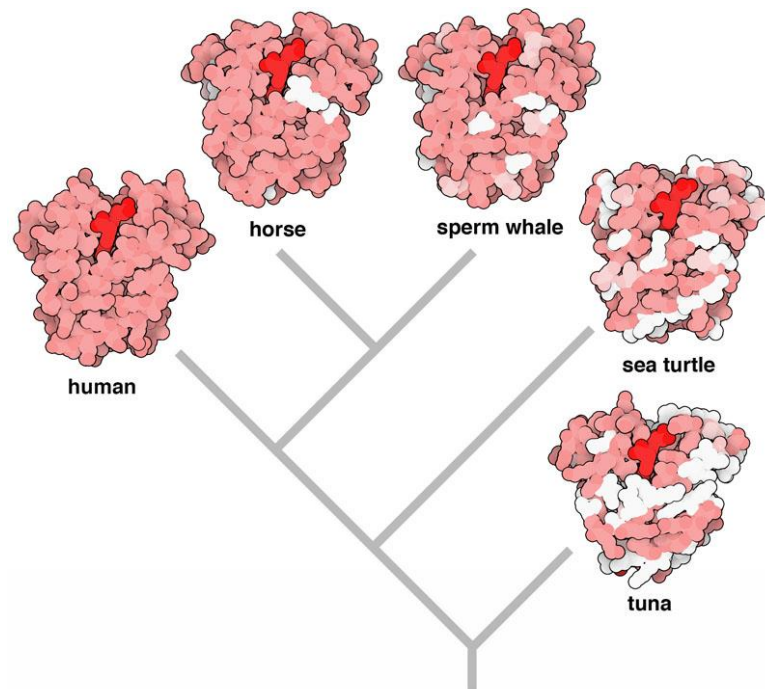
*Homología en las extremidades de tetrápodos con funcionalidades muy diversas (vuelo, nado, desplazamiento, función de pinza...), todas ellas presentan la misma estructura ósea y cinco dedos (en el caso del caballo, cinco dedos en origen embriológico). La explicación evolutiva es que todas son variedades de la extremidad del ancestro común.*

En la anatomía, desarrollo embrionario y bioquímica de cada especie encontramos numerosísimas homologías con distintos grupos de organismos, las cuales no serían posibles si las especies tuvieran orígenes independientes.

El uso de homologías va más allá aún, ya que son la base de las clasificaciones biológicas, grupos como “Plantas con flor” o “felinos” son definidos por homologías, esto se debe a que las diferentes homologías de diferentes grupos de organismos siguen un patrón jerárquico.

De forma innovadora, Penny et al. (1982) examinaron secuencias de proteínas de 11 especies, utilizaron las homologías en los patrones de aminoácidos para construir un “árbol” evolutivo de las especies. Algunas especies tenían secuencias de proteínas más similares que otras, así las especies más similares se agrupaban más cercanas en el árbol construido.

Construyendo este tipo de árbol con 5 proteínas distintas, se obtenían resultados muy similares, casi idénticos para el árbol que relacionaba las 11 especies. Esto mostraba que las similitudes y diferencias de las secuencias de aminoácidos estaban correlacionadas, si dos especies tienen más homologías para una de las proteínas, estas homologías son probables de forma similar para las otras. Si las 11 especies tuvieran orígenes independientes no habría motivos para que las homologías estuvieran correlacionadas.

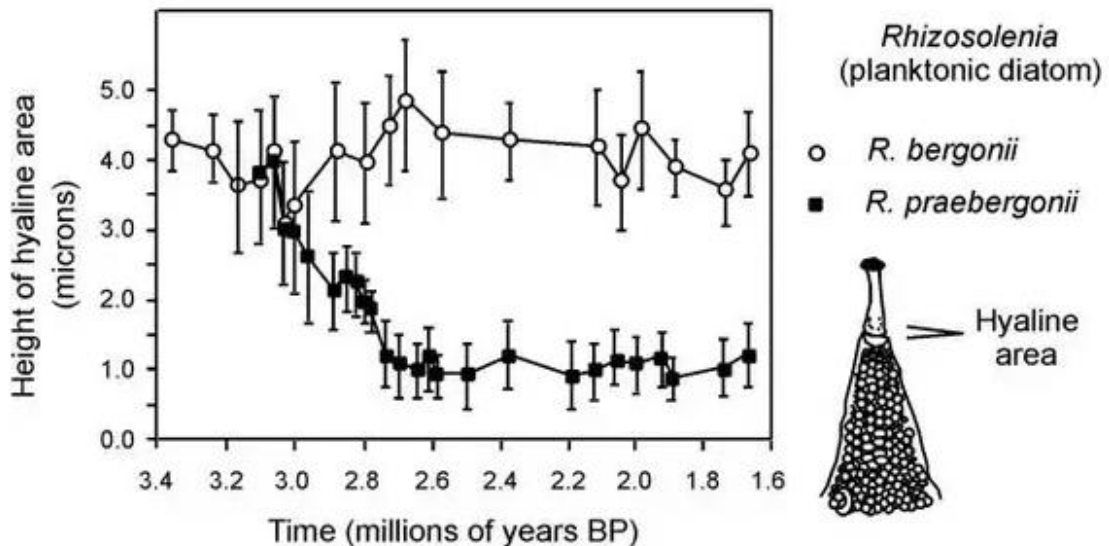


**Figura 7.** Tomado de <https://pdb101.rcsb.org/motm/206>. Árbol filogenético creado mediante comparación de homologías en la secuencia de aminoácidos de mioglobina de distintas especies. Las secuencias de aminoácidos idénticas son señaladas en rojo, los similares en rosa y los diferentes en blanco.

El análisis de secuencias de aminoácidos y de nucleótidos es la base de la filogenia actual (relación de parentesco entre especies y taxones), siendo un método altamente eficaz para clasificar y relacionar grupos de organismos y sus ancestros evolutivos (Ver **Figura 7** para ejemplo de árbol filogenético).

*e) El registro fósil*

El registro fósil es lo suficientemente completo para revelar casos de evolución incluso a nivel de especie: Hace unos 3 millones de años una especie ancestral de diatomeas *Rhizosolenia* se dividió en dos y hay un extenso registro fósil de la separación progresiva, ya que los fósiles que dejan estos organismos unicelulares permiten medir el área de partes individuales de la célula (Ver **Figura 8**) (Cronin & Schneider, 1990).



**Figura 8.** Evolución de la diatomea *Rhizosolenia*. La forma de la diatomea se obtiene del fósil midiendo la altura del área hialina de la pared celular (Cronin & Schneider, 1990).

Normalmente no se encuentran evidencias fósiles tan claras (las diatomeas, por sus particularidades, dejan gran cantidad de restos fósiles). Suele haber huecos en el registro fósil (de 25000 a 1 millón de años) y en esos huecos pueden ocurrir grandes cambios evolutivos.

Los fósiles nos muestran que el mundo no siempre fue como en la actualidad, su sola existencia muestra evidencia de cambio. Un ejemplo claro es que los fósiles nos muestran que el orden de aparición de vertebrados es de peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos ya que ese es el orden de los fósiles más antiguos encontrados de cada grupo (peces los más antiguos, mamíferos los más recientes).

### 3.1.4 Selección natural y variación

#### a) *Introducción a la selección natural*

En la naturaleza, existe una **lucha por la supervivencia** (Ridley, 2004):

Los distintos organismos sufren innumerables desafíos por sobrevivir, alimentarse, evitar depredadores y competidores para finalmente reproducirse. El bacalao común (*Gadus callarias*) produce alrededor de 2 millones de huevos por puesta, 99% de ellos mueren en el primer mes, devorados por invertebrados y larvas de pez, del 1% restante otro 90% muere antes de pasar 1 año.

Una hembra media de bacalao producirá solo dos descendientes a lo largo de toda su vida. Pero este dato no se obtiene por medición u observación, es algo lógico, solo dos pueden sobrevivir de media para que la población se mantenga con el mismo número de individuos, si sobrevivieran más, a largo plazo sería insostenible. Por tanto, de 2 millones de huevos, mueren 1.999.998 y sobreviven 2.

Este exceso de fecundidad (se producen más descendientes de los que sobreviven) es universal en la naturaleza, ocurre en todos los organismos en mayor o menor medida. La alta mortalidad es una consecuencia de que en el mundo no existan suficientes recursos para que sobreviva toda la progenie, una población puede expandirse hasta cierto punto pero llega un momento en el que la escasez de recursos limita el crecimiento. A medida que los recursos escasean, la proporción de muertes aumenta (Hallgrímsson, 2008).

Los individuos por tanto, compiten para sobrevivir y reproducirse de forma directa, como puede ser defendiendo un territorio, o de forma indirecta, como podría ser agotando los recursos que no podrá obtener otro individuo. La competencia surge así de los recursos limitados y del exceso de fecundidad y ocurre enmarcada en relaciones ecológicas (relaciones dentro de la misma especie, con otras especies y con los factores abióticos como el agua, el espacio...)

El exceso de fecundidad y la competición, extendidos de forma universal en la naturaleza, son las precondiciones para que ocurra la selección natural (Darwin, 1859). Para que la selección natural opere se requieren estas tres condiciones adicionales:

- Los organismos deben reproducirse para formar una nueva generación
- La descendencia debe parecerse a sus progenitores (Herencia)
- Debe haber variación en las características individuales entre miembros de la población y además estas variaciones deben afectar al éxito reproductivo de los individuos (En adelante denominado con el término más correcto, *fitness*<sup>1</sup>)

---

<sup>1</sup> *Fitness*: Término dentro de la teoría evolucionista que significa la media de descendientes dejados por un individuo en relación al número de descendientes dejados por la media de la población.

Si estas condiciones se cumplen, la selección natural actuará, las entidades/individuos con mayor *fitness* dejarán más descendencia y la frecuencia de esa variedad aumentará en la población.

En Schuurman (1995) observamos cómo la selección natural actúa directamente sobre los virus de VIH, tras aplicar el fármaco 3TC al paciente, aquellos con mayor *fitness* (los resistentes al fármaco 3TC) dejan más descendencia y su frecuencia aumenta en la población (el individuo enfermo de SIDA). El virus cumple las tres condiciones:

- 1) Se reproduce.
- 2) La habilidad para resistir 3TC se transmite, es heredable.
- 3) La población de virus presenta una variedad (resistencia a 3TC) que aumenta el *fitness* (le permite sobrevivir al tratamiento y reproducirse, a diferencia de las variedades no resistentes). Esto hace que esa variedad tenga más éxito reproductivo y por tanto su frecuencia aumente en la población.

La selección natural actúa fuertemente cuando el ambiente cambia (en el ejemplo del VIH cuando se añade el fármaco 3TC), pero también actúa sobre ambientes constantes si surgen nuevas variedades que sobreviven mejor, con mayor *fitness*.

El proceso de selección natural lleva operando en todas las formas de vida desde que se originó hace 4000 millones de años. La selección natural no solo produce cambio evolutivo, también puede causar que una población se mantenga constante: Si el ambiente es constante y no surge ninguna variedad que sobreviva mejor, la selección natural mantendrá la población de la forma que es (ya que si surgen variedades peores tendrán menos éxito reproductivo y desaparecerán). Así la selección natural puede explicar el cambio evolutivo y la ausencia de cambio (Ridley, 2004).

La selección natural también puede explicar las adaptaciones, la resistencia a 3TC del VIH es un ejemplo claro de adaptación. La acción de la selección natural ha aumentado la frecuencia del gen que codifica una transcriptasa inversa más eficiente que no se ve afectada por 3TC. Finalmente toda la población de VIH poseía esta adaptación al nuevo medio con fármaco 3TC (Schuurman, 1995).

### b) Selección natural direccional, estabilizadora y disruptiva

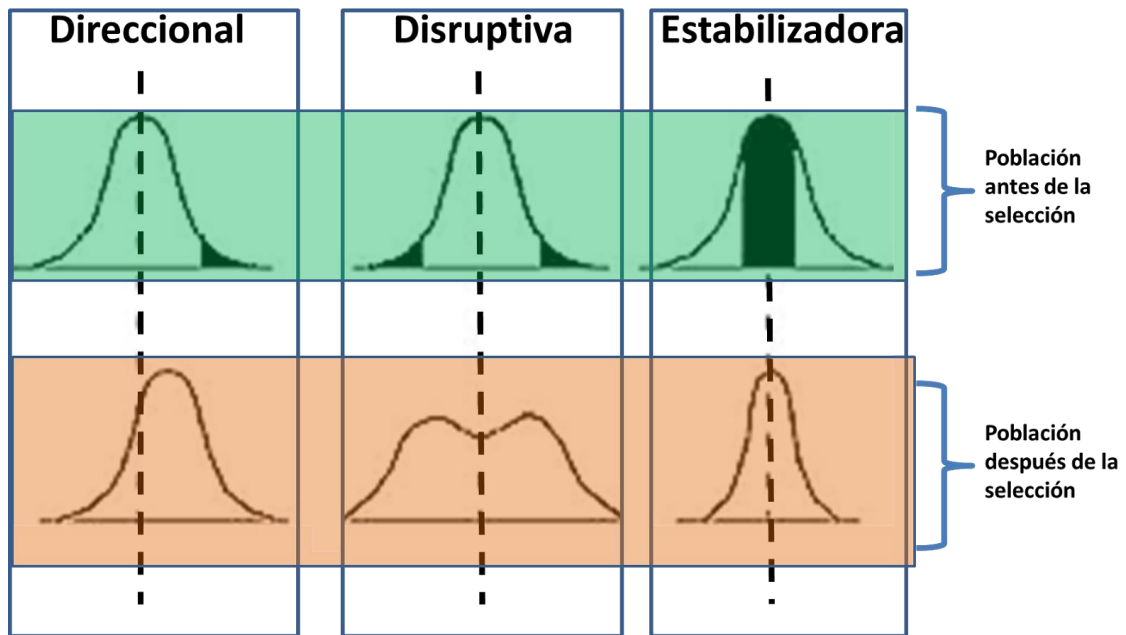
Es común que los caracteres de los individuos sean de carácter continuo, con una distribución representada por una curva normal o campana de *Gauss* (por ejemplo la altura, el tamaño de alas, peso...). La selección natural puede actuar de tres formas (Ver **Figura 9**), que se ven claramente si la estudiamos en un carácter con distribución continua:

Suponiendo un carácter como el tamaño, si los individuos más pequeños tienen mayor fitness la selección dirigirá la población hacia un tamaño medio menor, este tipo de selección recibe el nombre de **selección direccional**. Un ejemplo es el de los salmones rosados, *Onchorhynchus gorbusha*: El tamaño medio de los salmones en dos ríos desde 1950 muestra una significativa bajada, debida a la pesca selectiva de los individuos más grandes lo que causa que los individuos de menor tamaño tengan mayor supervivencia y probabilidad de reproducirse. Esto causa que la media de la población sea cada vez de menor tamaño (Ricker, 1981).

Un segundo tipo de selección natural es la **estabilizadora**. Para un rasgo, los individuos que se sitúan en el valor medio de la población son los mejor adaptados. La selección actúa manteniendo a los individuos cercanos a este valor medio, ya que los individuos con valores alejados de ese valor medio se reproducen menos. Esta suele ocurrir cuando la selección natural ya ha actuado durante mucho tiempo y los individuos se encuentran bien adaptados a un ambiente constante.

Un tercer tipo de selección natural es la **disruptiva**. En el pinzón Africano, *Pyrenestes ostrinus*, la mayoría de las poblaciones contienen individuos de gran tamaño y de pequeño tamaño (en ambos sexos). Esto se debe a que existe una especie de planta que produce semillas duras en la que los individuos de gran tamaño se especializan (alimentándose de ella preferentemente) y una especie que produce semillas blandas en la que se especializan los individuos de pequeño tamaño. Esta distribución bimodal de recursos causa que la selección natural actúe de forma bimodal en los pinzones, la selección es así disruptiva porque hace que la población se separe en dos tipos medios (Smith & Girman, 2000). Esta clase de selección es particularmente interesante ya que causa el aumento de la diversidad genética de una población y causa, con el paso del tiempo, especiación.

Una última posibilidad es que el carácter no tenga relación con el *fitness* del individuo, en ese caso la selección no podrá actuar sobre ese carácter de ninguna forma.



**Figura 9.** Tipos de selección natural. En el eje Y se representa la frecuencia y en el eje X el fenotipo (tamaño, peso...). Las gráficas de la parte superior tienen resaltado en color más oscuro la parte de la población favorecida por la selección.

### c) La variación y su origen

La variación es un requisito fundamental para que actúe la selección. Se ha demostrado la existencia de variación en poblaciones naturales a todos los niveles (Ridley, 2004):

- **Morfológico:** Variación en tamaño, peso, longitud...
- **Celular:** Se pueden apreciar diferencias cromosómicas en diferentes individuos de la misma población. Por ejemplo inversiones en la estructura cromosómica.
- **Bioquímico:** Se pueden apreciar diferencias a nivel de proteína incluso dentro de una misma especie o población. Separando las proteínas con una electroforesis en gel se pueden observar variaciones entre individuos.
- **Genómico:** La variación inevitablemente se puede encontrar en la molécula que porta la información del organismo, el ADN. Si se estudia la secuencia de ADN se pueden observar variaciones entre individuos, especialmente en ciertas regiones que presentan mayor variabilidad (Por ejemplo, los microsatélites).

Para que actúe la selección, la variación que existe entre poblaciones naturales debe causar variación en el éxito reproductivo, es decir que unos individuos se reproduzcan más que otros. La mayor parte de individuos que nacen están destinados a morir y de esta forma, cualquier atributo que incremente su porcentaje de supervivencia aumentará la probabilidad de que tenga descendientes (*fitness*). Por tanto la relación entre variación y *fitness* es prácticamente inevitable.

Por ejemplo, Gill (1989) observó que solo un 2% de los individuos de *Cypripedium acaule* conseguían producir frutos, el resto eran evitados por los polinizadores y no se reproducían. Esta diferencia en el éxito reproductivo se debía a variaciones en caracteres de la flor, las cuales afectaban a la atracción de los polinizadores.

La variación que existe en una población es el combustible sobre el que la selección puede operar. Si en una población existen individuos de entre 2-4 cm y la selección favorece enormemente el mayor tamaño, la media de la población se irá acercando progresivamente a los 4 cm, pero si no hubiera formas de generar nuevas variaciones nunca podría superar los 4 cm. Por tanto para que la evolución pudiera haber generado formas de vida tan diferentes a las originales debe haber mecanismos que hagan surgir nuevas variaciones.

Hoy en día se conoce que los dos mecanismos principales que generan variaciones (y por tanto variabilidad genética) son las mutaciones y la recombinación (Pierce, 2006):

En todas las especies la **mutación** (cambios de mayor o menor dimensión en la secuencia y/o organización del ADN) es una importante fuente de variabilidad genética. Cuanto mayor es el ratio reproductivo, el tamaño de población y la tasa de mutación, mayor es la cantidad de variabilidad genética que las mutaciones aportan a una población. Un ejemplo extremo son los virus, que presentan unos tamaños de población y ratios reproductivos enormes, por ello generan nuevas variedades tan rápido, que son capaces de adaptarse a vacunas, tratamientos...

La **recombinación** juega un papel fundamental de generación de variabilidad genética en especies con reproducción sexual, ya que permite nuevas combinaciones de genotipos (variedades) ya existentes, provocando la aparición de nuevas variedades.

Cuando surge una nueva variación, por mutación o recombinación, un factor fundamental es que aparece de forma aleatoria y desacoplada de la dirección de la selección. La selección natural es el motor que dirige la evolución usando como combustible la variación que surge de manera aleatoria (Hallgrímsson, 2008).

### 3.1.5 Evolución y biodiversidad

La teoría de la evolución es extremadamente útil para entender la diversidad de la vida. Las millones de especies que habitan la tierra han evolucionado de un ancestro común y la multiplicación en el número de especies se ha originado de eventos de especiación en los que una especie se dividía en dos.

En la práctica, las especies se definen por rasgos fenotípicos reconocibles que indican con fiabilidad a que especie pertenece un individuo. La definición biológica dice que las

especies son un conjunto de individuos que pueden reproducirse entre ellos y no con otros debido a mecanismos de aislamiento (Mayr, 1963). Una comunidad de individuos que se entrecruzan forman un “pool genético”, una población en la cual las frecuencias génicas pueden cambiar por acción de la selección natural, la especie en este concepto es la unidad de evolución. El concepto biológico de especie explica por qué los miembros de una especie se parecen entre ellos y se diferencian de otras especies.

Algunas de las barreras reproductivas que pueden surgir entre especies son (Dobzhansky, 1970): Aislamiento ecológico o de hábitat, aislamiento temporal, aislamiento sexual o de comportamiento, aislamiento mecánico, aislamiento por diferentes polinizadores, aislamiento gamético y la inviabilidad de los híbridos.

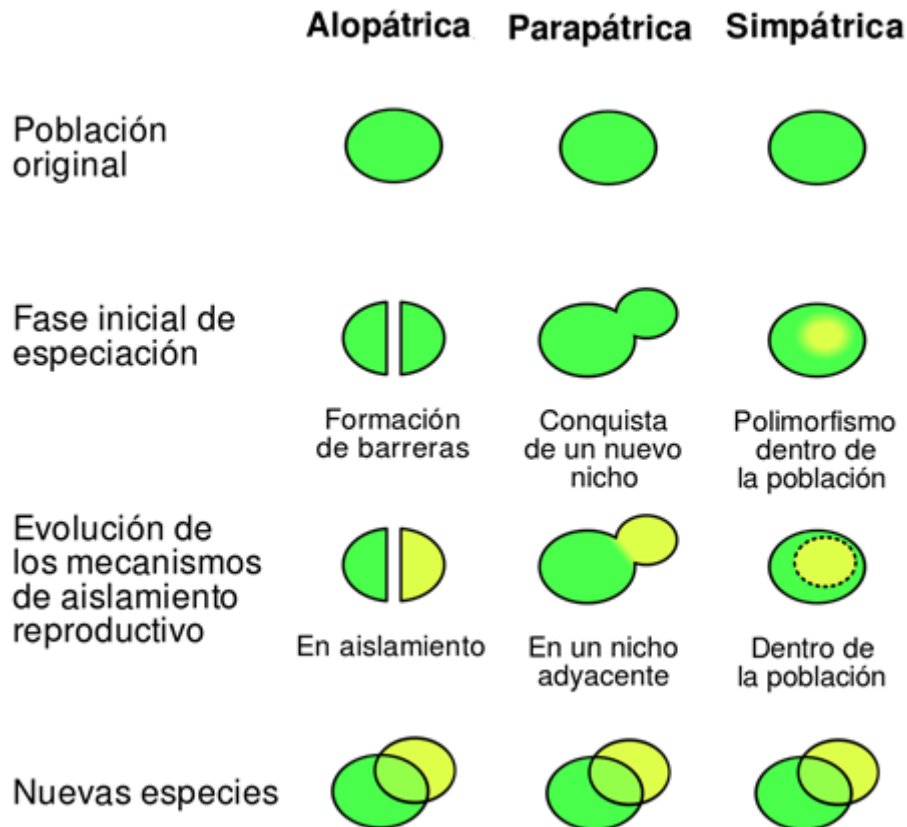
La definición ecológica de una especie dice que es un conjunto de organismos adaptados a un nicho ecológico particular. Todos estos conceptos de especie están íntimamente ligados y aunque en la práctica no siempre se cumplen todos ellos, nos sirven para describir que la vida se muestra en una gran variedad de formas denominadas especies.

#### *a) El concepto de especiación*

La especiación surge de la evolución de las barreras de aislamiento reproductivo entre dos poblaciones. El aislamiento puede ser antes de la formación del cigoto, precigótico (por ejemplo que las especies tengan distinto comportamiento de apareamiento), o postcigótico (por ejemplo que los híbridos sean infértiles)

La especiación puede ser de tipo **alopátrica**: la nueva especie se origina en aislamiento geográfico del ancestro; **parapátrica**: la nueva especie se origina en una población geográficamente contigua a la ancestral y **simpátrica**: la nueva especie se origina en el mismo rango geográfico que la antecesora (Ridley, 2004) (Ver **Figura 10**).

En la especiación alopátrica, la más común, las nuevas especies evolucionan cuando una población se queda geográficamente aislada de otras, la barrera podría ser algo como una montaña, río o accidente del terreno que corte una población antaño continua. La especie queda subdividida y se corta el intercambio genético entre las poblaciones. Con el paso del tiempo evolutivo ocurrirá una diferenciación genética que finalmente causará la aparición de un carácter (o varios) que actuara como barrera reproductiva. Por ejemplo se podría desarrollar un nuevo tipo de canto en un pájaro, que no atrajera a las hembras de la población original, surgiendo así una barrera reproductiva basada en el comportamiento durante el cortejo.

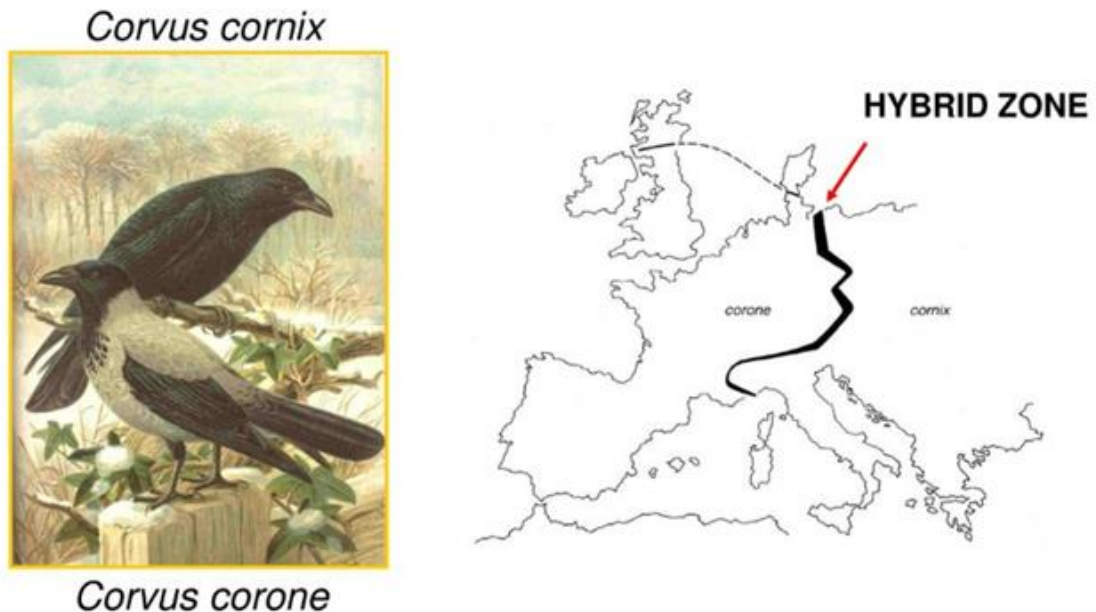


**Figura 10.** Esquema de los tipos de especiación: alopátrica, parapátrica y simpátrica. Adaptado de [Wikipedia.org/especiación](http://Wikipedia.org/especiación)

Estas ideas sobre la especiación alopátrica se han demostrado de forma experimental. Dodd (1989) capturó moscas de la fruta, *Drosophila pseudoobscura*, y las dividió en 8 poblaciones, 4 de ellas se pusieron en un medio rico en almidón y otras 4 en un medio rico en maltosa. Con el paso de las generaciones, las moscas habían desarrollado diferencias detectables en sus enzimas digestivas, que con gran probabilidad eran adaptaciones a los diferentes recursos. Probó a cruzar machos y hembras de las dos poblaciones distintas (maltosa y almidón) y observó que las moscas de “almidón” preferían parejas de la población de almidón, y las de “maltosa” preferían parejas de la población de maltosa. Posiblemente porque los cambios divergentes afectaron al comportamiento reproductivo de alguna forma.

En la especiación parapátrica, la nueva especie evoluciona de poblaciones contiguas, en lugar de completamente separadas. En este caso, en la especie surge un gradiente acusado de variación geográfica debido a un cambio abrupto de ambiente, así una forma de la especie estaría adaptada a un lado del borde del gradiente y la otra forma al otro lado, hasta que hay suficientemente escasez de intercambio genético para

originar dos especies distintas. A menudo es común encontrar zonas de hibridación de las dos especies por el borde de la distribución geográfica de ambas (ver **Figura 11**).



**Figura 11.** Extraída de Mayr (1963). Distribución de dos especies muy emparentadas, se muestra el borde en el cual coinciden y se emparejan produciendo híbridos.

La especiación simpátrica es una fuente de controversia, en la teoría el origen es un polimorfismo dentro de una población. Por ejemplo dos formas de una especie adaptadas a comer diferentes alimentos pero que comparten espacio geográfico y que cuando se cruzan producen individuos con menor fitness. La mayoría de los modelos establecen que la selección natural inicialmente establece un polimorfismo y después la selección favorece un aislamiento reproductivo entre las formas polimórficas (Schliewen et al., 1994).

#### *b) Clasificación de la biodiversidad*

Se han descrito aproximadamente 1.75 millones de plantas y animales y 0.25 millones de fósiles extintos. Las estimaciones alegan que existen entre 10 y 100 millones de especies (Hallgrímson, 2008). En biología, se necesitan organizar estos cientos de miles de especies, para ello se utilizan jerarquías. Las especies se agrupan en géneros, los géneros en familias, las familias en órdenes, los órdenes en clases, las clases en filos y los filos en reinos. El problema surge de como agrupar las especies en estas categorías superiores.

Según Ridley (2004), generalmente se utiliza un método filogenético o un método fenotípico. El fenotípico agrupa las especies según sus atributos fenotípicos observables, si dos especies se parecen entre ellas más que ninguna otra especie, se agrupan juntas en la clasificación. La clasificación completa consiste de niveles jerárquicos en la que los miembros de grupos superiores se parecen cada vez menos

entre ellos. Un perro y un lobo pertenecen al mismo género porque fenotípicamente son mucho más similares que un lobo y un delfín (que pertenecen a la misma clase). Para este tipo de clasificación no se requiere saber nada de evolución.

Por el contrario, la clasificación filogenética es evolucionista, solo las entidades con relación evolutiva pueden clasificarse de esta forma. Se clasifican las especies por como de reciente es el ancestro común que comparten. Cuanto más reciente sea el ancestro común, más bajo será el grupo de clasificación en el que se engloben dos especies (por ejemplo lobo y perro tienen un ancestro común muy reciente por lo que pertenecen al mismo género) y al final todas las especies entrarían en un árbol filogenético global que contiene a todos los descendientes del ancestro común de la vida.

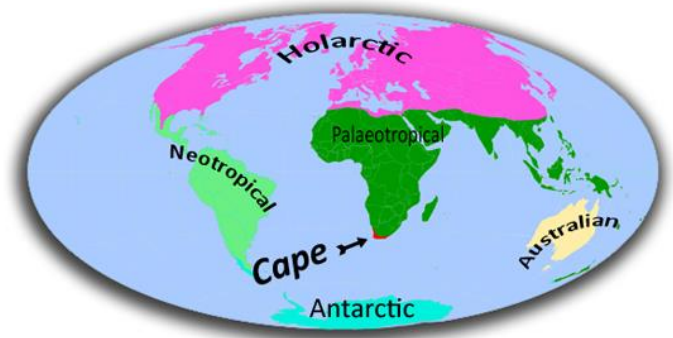
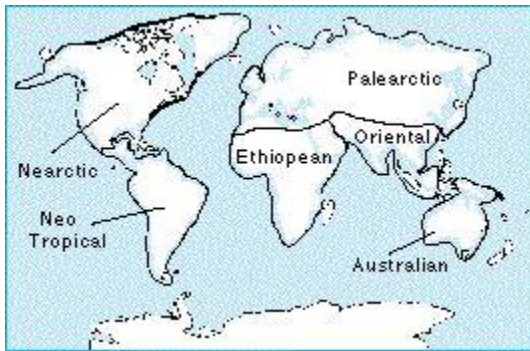
Normalmente estas clasificaciones dan el mismo tipo de resultados, pero hay ocasiones en las que no: cuando ocurre convergencia evolutiva (dos individuos con ancestro común lejano pueden parecer fenotípicamente similares debido a las presiones selectivas del hábitat en común) y cuando ocurre evolución muy rápida de algunos descendientes (como las aves que evolucionaron de los reptiles).

### *c) Biogeografía evolutiva*

Las especies tienen distribuciones geográficas definidas. Pueden ser desde endémicas (limitadas a un área particular) a ser encontradas en todos o casi todos los continentes de la tierra (especie cosmopolita, como por ejemplo la Paloma). Al igual que las especies tienen distribuciones, los géneros, familias y órdenes también tienen distribución geográfica. Movimientos de individuos a corto plazo pueden influir en la distribución de poblaciones y especies, y otros procesos más a largo plazo, como los geológicos pueden explicar la biogeografía de taxones superiores.

Según Cox y Moore (2000) podemos dividir el globo en seis regiones faunísticas, basadas en aves y mamíferos y seis regiones florales según la distribución de angiospermas (ver **Figura 12**).

Los límites de distribución de una especie se establecen por los factores ecológicos. Una especie será capaz de tolerar un rango de factores (como por ejemplo temperatura, humedad...) y podría en teoría vivir en cualquier sitio que se cumpla ese rango, este hábitat teórico sería su nicho fundamental. Sin embargo, otras especies competidoras ocuparan parte de ese nicho fundamental, por lo que el nicho real de una especie siempre será menor. Una especie solo ocupará el rango del nicho en el que tenga ventaja competitiva, es decir, el más óptimo.



**Figura 12.** Según Cox y Moore (2000): A la izquierda, mapa con las seis regiones faunísticas principales. A la derecha mapa con las seis regiones florales principales.

Una especie no puede vivir fuera de su rango de tolerancia ecológico, sin embargo dentro de los rangos de tolerancia, factores históricos pueden haber determinado donde una especie vive y donde no.

El rango de una especie puede cambiar si los miembros de esta se mueven en un proceso llamado dispersión. Las distribuciones geográficas y la dispersión de las especies están ampliamente condicionadas por el clima, los cambios climáticos y los movimientos geológicos.

Por ejemplo, durante el Cuaternario el clima ha sido más frío que en el Terciario y ha habido subidas y bajadas de temperatura cíclicas (períodos glaciales e interglaciares). Cuando el clima se enfría el rango de animales y especies tiende a contraerse y alejarse de los polos. Los movimientos de la edad de hielo tienen consecuencias evolutivas: Las poblaciones que se desplazaban al sur quedaban aisladas en refugios, evolucionaban y divergían genéticamente y posteriormente (con la subida de temperatura) volvían hacia sus lugares de origen en el norte ya como variedades independientes. El oso, que se refugió en España, Italia y los Balcanes, tras la subida de temperatura, se expandió hacia el norte de nuevo originando una filogenia con 3 ramas, cada una correspondiente a un refugio (Cox y Moore, 2000).

Las islas y archipiélagos son zonas biogeográficas de especial interés evolutivo, ya que en ellas es frecuente que ocurra radiación adaptativa: Una sola especie ancestral evoluciona en varias especies descendientes, cada una con distintas adaptaciones ecológicas.

## 3.2 Enfoque didáctico y su utilidad práctica

### 3.2.1 La enseñanza de la evolución: Cultura, religión y política

La evolución se ha posicionado en el centro del conflicto entre religión y ciencia para explicar cómo funciona el mundo. Newall (2017) muestra que, al margen de su fe, para algunas personas las ideas asociadas con la evolución pueden ser perturbadoras: ideas de cambio, incerteza, ausencia de propósito, extinción, competición, así como el concepto de identidad. La enseñanza tiene un importante papel en la formación del individuo a nivel afectivo, se deben así, tener en cuenta las implicaciones a nivel personal para el alumnado que conlleva la discusión y el aprendizaje del concepto de evolución.

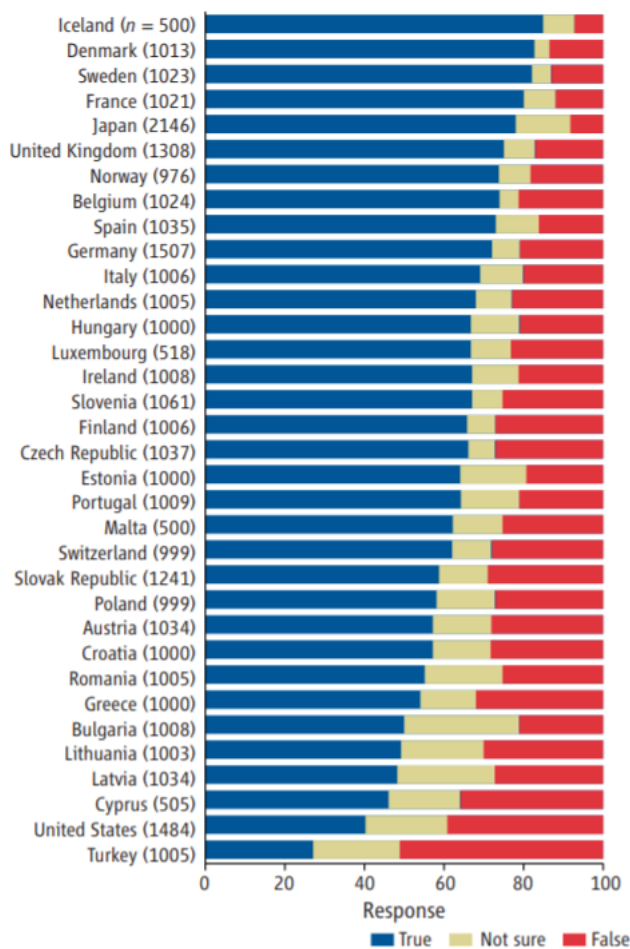
Según los estándares NGSS Lead States (2013) la evolución es una de las 4 ideas clave en ciencias biológicas. Resulta sorprendente que sea identificada como uno de los componentes fundamentales del saber científico pero también se incluya en el listado “*Vision and Change in Undergraduate Biology Education*” de áreas principales a cambiar en el sistema educativo estadounidense (Brewer & Smith, 2011), lo que denota que algo falla en la educación sobre conceptos evolutivos.

El 98% de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (American Association for the Advancement of Science, AAAS) acepta que el humano y otras especies vivientes han evolucionado de un ancestro común, pero solo un 65% de la población americana en general lo acepta (Funk & Rainie, 2015). Estos datos nos muestran el contraste que existe entre la opinión pública y una opinión correctamente formada en ámbito científico. El sistema educativo es clave para solidificar los preceptos de la evolución.

De igual forma que existe un contraste entre población científica y público general, también existe un gran contraste entre diferentes países en la aceptación de la evolución. Esto es una clara muestra de la importancia de la cultura, educación y religión en la asimilación de este concepto científico y sus evidencias (Miller, 2006). Ver **Figura 13** para gráfico.

Otro punto resaltable es que en EEUU entre los años 1985 y 2005, aumentaba del 7 al 21% el porcentaje de la gente que no tenía clara si la evolución era cierta o no (Miller, 2006). A pesar del aumento de información disponible para el público general con la popularización de internet, el número de personas que no tiene claro su postura respecto a la teoría de la evolución ha aumentado. Esto denota que no es suficiente poner la información a disposición pública; debido al nivel de abstracción requerido para entender el concepto de cambio evolutivo, se necesita una acción educativa específica. El enfoque educativo en primaria, secundaria y pre-universitario es esencial

para abordar la problemática científica, ideológica y religiosa a la que se enfrenta el público general cuando se enfrenta a la teoría evolutiva.



**Figura 13.** Extraída de Miller (2006). Aceptación pública de la evolución en distintos países. En azul porcentaje de la población que piensa que la teoría de la evolución es cierta, en amarillo que no lo tienen claro y en rojo que piensan que es falsa.

La educación en el concepto de genética tiene una moderada correlación positiva en la aceptación de la evolución. Estos resultados indican que los adultos que han sido educados en genética moderna tienen más probabilidad de tener actitudes positivas hacia la teoría de la evolución (Miller, 2006).

De forma interesante, cuando a los adultos se les presenta una descripción de la selección natural sin mencionar nada sobre evolución, un 78% mostraba su acuerdo con esas ideas. De esos mismos adultos sin embargo, un 62% creía que Dios creó a los humanos tal y como son ahora sin ningún desarrollo evolutivo (Miller, 2006). De alguna forma los adultos estadounidenses han desarrollado un “excepcionalismo” humano (Consideran al ser humano “especial”): Solo un tercio de los adultos acepta la idea de que los humanos comparten la mitad de los genes con ratón y solo un 38% acepta que más de la mitad de los genes humanos sean igual que los de chimpancé.

Se puede observar cómo las ideas evolucionistas pueden ser especialmente perturbadoras cuando se trata el origen de nosotros mismos, los seres humanos, tema que debe ser tenido en cuenta para el enfoque educativo. Se convierte así en una

prioridad que en la educación de ciencias se trate al ser humano como un animal más, con el mismo origen evolutivo que el resto y al que se le aplican las mismas reglas biológicas.

Menos de un 50% de los norteamericanos pueden dar una definición mínima del ADN y menos de un 40% aceptan la teoría de la evolución (Ver **Figura 13**). Estos resultados son preocupantes para los docentes de ciencias de todos los niveles, ya que la evolución y la genética son conceptos clave para entender las ciencias biológicas. La fuerte emergencia de las ciencias biomédicas, biotecnología e ingeniería genética hace necesario un sólido nivel de educación en temas evolutivos.

En Islandia, Dinamarca, Suecia, Francia y Japón, países de similar nivel económico que EEUU se acepta la evolución en un 80% de los encuestados, a diferencia del 40% de aceptación en EEUU. Estados Unidos es así un caso ejemplar: La ciencia ha sido politizada por la aparición de partidos con ideología fuertemente religiosa y conservadora. Este hecho nos permite ver la influencia de la política en la educación científica básica (Miller, 2006).

En España, la aceptación de la evolución está en torno al 60% (Ver **Figura 13**), valor que sigue siendo bajo si tenemos en cuenta la importancia científica, cultural y filosófica de esta teoría. Como claramente muestran Funk y Rainie (2015), existen diferencias entre público formado científicamente (98% de aceptación en EEUU) y no formado (40% de aceptación en EEUU). Se justifica así, la importancia de esta unidad didáctica (La Evolución) en el ámbito de educación secundaria y pre-universitaria.

La complejidad y el grado de abstracción requerido para comprender el concepto de evolución hacen necesario que se utilicen metodologías educativas contrastadas y el docente no se limite a la mera exposición del contenido. Un excelente punto de partida para ello es el trabajo sobre las ideas previas del alumno, para evaluar su nivel de partida y enlazar el nuevo contenido con lo que ya sabe. Citando a Ausbel (1983): Un aprendizaje es significativo cuando los contenidos son relacionados de modo no arbitrario y sustancial (no al pie de la letra) con lo que el alumno ya sabe.

En este Trabajo de Fin de Máster, en el apartado de Proyección Didáctica se da ejemplifica una unidad didáctica sobre Evolución, con elementos curriculares (objetivos, competencias, contenidos, metodología y evaluación) que se consideran apropiados para que el alumnado mejore su comprensión de la teoría evolutiva y sepan aplicarla y relacionarla con conceptos biológicos de todo tipo.

### 3.2.2 Ideas previas sobre evolución

#### a) *Origen y causas de las ideas previas*

Uno de los grandes problemas al que se enfrenta la educación en el ámbito científico es la existencia de ideas previas (*"misconceptions"*) en los alumnos. Bello (2004) las define como fuertes concepciones alternativas a los conceptos científicos, que resultan muy difíciles de modificar y, en algunos casos, sobreviven a largos años de instrucción científica.

La investigación sobre ideas previas comenzó en los años 70 y desde entonces se ha evidenciado su importancia en la enseñanza de las ciencias. Según Bello (2004) son construcciones que los sujetos elaboran para dar respuesta a su necesidad de interpretar fenómenos naturales o conceptos científicos, para brindar explicaciones, descripciones o predicciones. Se trata de construcciones personales, pero a la vez están extendidas universalmente y son muy resistentes al cambio.

Las ideas previas implican la formación de un esquema conceptual más o menos coherente, pero diferente al científico. Se construyen a partir de las vivencias, la experiencia y la vida cotidiana resultando un problema cuando se intenta que el alumno aprenda los conceptos correctos, especialmente si estos requieren gran grado de abstracción. Si los estudiantes encuentran información que contradiga los esquemas de sus ideas previas les resulta difícil aceptarla (Mulford y Robinson, 2002).

Detectar las ideas preconcebidas e indagar en ellas permitirá conocer su origen y construir un cambio en los esquemas mentales del alumno. La relación de los nuevos contenidos de forma no arbitraria con lo que el alumno ya sabe permitirá que haya aprendizaje significativo (Ausbel, 1983).

Strike y Posner (1985) proponen la sustitución de las ideas preconcebidas mediante una actividad racional, denominada cambio conceptual, con las siguientes condiciones:

- El estudiante debe sentir insatisfacción con sus concepciones existentes
- La nueva concepción debe ser entendible
- La nueva concepción debe parecer posible y aceptable desde el inicio, a pesar de ser posiblemente contra intuitiva.
- La nueva concepción debe ser útil. Debe ser aplicable a un gran número de fenómenos o eventos, resolver los problemas creados por las ideas previas y explicar nuevos conocimientos y experiencias.

Ante el modelo propuesto por Strike y Posner, numerosos profesores diseñaron estrategias para provocar este conflicto cognitivo en el que se ponía en evidencia las ideas preconcebidas de los alumnos. Los resultados no fueron tan buenos como se esperaban: Bybee (1997) explica la problemática del conflicto cognitivo debido a que "muchas personas mantienen profundos vínculos emocionales con sus explicaciones

del mundo y la confrontación con otra explicación opuesta provoca más emoción que análisis racional, por lo que tenemos tendencia a aferrarnos tenazmente a nuestra idea y buscamos pruebas que la sustenten, en vez de pruebas que la modifiquen o refuten”

Mulford (2002) se mantiene escéptico ante el cambio conceptual mediante conflicto cognitivo ya que el estudiante tiende a modificar la información recibida para que entre en sus esquemas en lugar de aceptar la contradicción y cambiar sus esquemas de pensamiento.

El cambio conceptual, utilizando la indagación en las ideas previas, es un proceso largo, no lineal y difícil que se encuentra determinado en gran parte por el contexto socioeconómico y las emociones. No es esperable que se pueda lograr en un curso escolar pero es totalmente necesario que el docente conozca las principales ideas previas de sus estudiantes, las que él mismo pueda tener y las que se encuentren en el material didáctico. Esto permitirá la búsqueda de estrategias de enseñanza que estimulen el cambio conceptual en el alumnado (Allen, 2014).

#### *b) Ideas previas sobre evolución*

Numerosos estudios identifican ideas previas (*“misconceptions”*) sobre evolución en diferentes grupos de estudiantes. Gregory (2009) muestra que estudiantes de todas las edades tienen dificultades entendiendo los conceptos evolutivos, desde educación elemental hasta estudiantes de doctorado. Las ideas previas son múltiples y variadas: desde pequeños malentendidos hasta rechazo absoluto a la teoría (Nehm & Schonfeld, 2007)

Los estudiantes a menudo fallan al adoptar la evolución como un principio organizador de las ciencias de la vida (Nehm et al., 2009). Algunas de las ideas previas más comunes suelen ser extremadamente persistentes y se ha observado su existencia, por décadas, en diferentes generaciones de alumnos, a pesar de los esfuerzos por erradicarlas (Mead & Scott, 2010). Que los alumnos tengan estas concepciones erróneas en forma de ideas previas es un gran problema, ya que dificulta enormemente el aprendizaje significativo.

En un estudio clarificador de Yates y Marek (2015) se realiza una encuesta a unos 1000 alumnos estadounidenses de primer año de secundaria, en la que tienen que mostrar su acuerdo o desacuerdo con 23 ideas agrupadas en 5 categorías (a, b, c, d y e):

### **A/ Ciencia, método científico y terminología:**

Un 50% de los estudiantes no supo diferenciar correctamente el uso de teoría en ciencia y su uso común (confundían teoría con una “creencia”). Esto se puede asociar a que en la encuesta, el 55% de los alumnos estaba de acuerdo con la idea “La evolución no puede ser considerada una explicación fiable porque la evolución es solo una teoría”.

Una idea previa común es que la evolución ocurre en pocos cientos de años en lugar de durante la escala de tiempo geológico (Robbins & Roy, 2007), para la idea “Los métodos científicos para determinar la edad de los fósiles en la tierra son fiables” el 21.2% de los alumnos estaba en desacuerdo.

### **B/ Intencionalidad de la Evolución**

Sobre la idea “La evolución siempre resulta en una mejora” un 30% de los alumnos estaba de acuerdo y por tanto tenía la idea previa errónea. Para la idea, “Los miembros de una especie evolucionan por una necesidad interna de evolucionar” el 38.4% de los alumnos estaba de acuerdo. Combinando estos resultados se puede observar la visión determinista y de intención interna de mejora sobre la evolución que los alumnos pueden tener de forma preconcebida.

### **C/ Sobre la naturaleza de la evolución:**

- Para el enunciado “Los nuevos rasgos en una población aparecen al azar”, 41.2% lo aceptaban y el 41.6% tenían una idea previa errónea.
- Para el enunciado “La evolución es un proceso totalmente aleatorio” el 26% estaba de acuerdo, de forma errónea, y el 51.5% no estaba de acuerdo.
- Para la idea, “Los organismos individuales se adaptan a su ambiente”, el 80.1% estaba de acuerdo, mostrando una idea previa errónea de marcado carácter Lamarckista.

Se pone de manifiesto que la visión de Lamarck tiene especial relevancia en ámbito educativo, debido al paralelismo entre esta hipótesis y las ideas previas que tienen los alumnos sobre el mecanismo evolutivo (Gallego & Muñoz, 2015). Los alumnos entienden por tanto que “Los individuos cambian, se adaptan y transmiten esas adaptaciones a la descendencia” en lugar de “Existe una variedad de individuos, algunos de los cuales están mejor adaptados y dan lugar a mayor descendencia”

En esta encuesta de Yates y Marek (2015), el 59.5% de los participantes tenían al menos una idea preconcebida errónea para alguna de las ideas sobre la naturaleza de la evolución, lo cual resultaba preocupante. Por ejemplo, el hecho de interpretar que la evolución sucede por azar es un claro indicador de que no se comprende el proceso de selección natural y la evolución en sí.

## D/ Mecanismos de evolución

- Para la idea “La variación entre individuos de una especie es importante para que ocurra la evolución”, un 40% estaba de acuerdo y un 29% en desacuerdo (idea previa errónea).
- Para la idea “Solo los rasgos beneficiosos se pasan a la descendencia” un 30% estaba de acuerdo, de forma errónea.

Estas dos ideas previas en conjunto muestran la dificultad de los alumnos para comprender los conceptos de herencia y asociarlos correctamente a la evolución.

- En la encuesta, para la idea “Las estructuras complejas como los ojos se podrían haber formado por evolución” el 45% estaba en desacuerdo, mostrando la prevalencia de esta idea previa incorrecta. En la literatura previa (Nelson, 2008) se muestra que los estudiantes a menudo creen que las estructuras complejas no se pueden formar por procesos evolutivos ya que los pasos intermedios serían inviables o no funcionales.

Una idea previa común y fuertemente arraigada es la malinterpretación de la frase “la supervivencia del más fuerte” (“*Survival of the fittest*”), una frase muy común para explicar la teoría de la evolución (Smith & Sullivan, 2007). Darwin (1859) la definió como “La preservación de las variaciones y diferencias individuales favorables y la destrucción de aquellas perjudiciales”. Los alumnos estadounidenses confunden el concepto con la supervivencia del más fuerte físicamente o del que más capacidad de pelea tiene (62.5% de los alumnos estaban de acuerdo con la idea “*survival of the fittest*” significa que solo los más fuertes, “*strong*” en la encuesta original americana, sobreviven).

La malinterpretación es todavía mayor en la traducción al español, donde se traduce “*fittest*” como el más fuerte, incrementando la asociación en los alumnos a fuerza física o capacidad de pelea. Una traducción más correcta y que no ayudase a perpetuar las ideas previas erróneas debería ser “supervivencia del más adaptado” en lugar de “supervivencia del más fuerte”.

Colectivamente, un 91% de los participantes tenía una o más ideas previas erróneas en esta categoría de ideas sobre mecanismos evolutivos.

## E/ Evidencia que demuestra la evolución

La evidencia que demuestra la evolución es numerosa y variada, sobre la que se ha hecho una breve recopilación en el apartado 3.1.3 de este Trabajo Fin de Máster.

- Para la idea “Existe mucha cantidad de evidencia que apoya la teoría de la evolución”, el 36% estaba de acuerdo y el 44% estaba en desacuerdo, mostrando el calado de esta idea previa.

- El 33% de los alumnos estaba de acuerdo con la idea “Los dinosaurios y los humanos vivieron a la vez en el pasado”.

Una idea previa muy extendida es que el ser humano evolucionó a partir del mono, en lugar de un ancestro común, en la encuesta de Yates y Marek (2015), el 48.6% de los alumnos estaba de acuerdo con la siguiente idea “Según la teoría de la evolución los humanos descienden de monos o gorilas” y el 42.3% no.

Recopilando la información de la totalidad de los cinco apartados de la encuesta, los alumnos poseen un 42.7% de acierto en sus respuestas, un 39.7% de error (ideas previas incorrectas) y un 17.6% de respuestas indecisas. El estudio de Yates y Marek (2015) resulta revelador respecto a las ideas previas sobre evolución pero debe tenerse en cuenta que, según Miller (2006), existen diferencias entre la aceptación de la teoría de la evolución entre EEUU y España (Ver Figura 13). Sería de esperar que también existan diferencias en las ideas previas, tanto de tipo cualitativo como cuantitativo, entre ambos países.

No cabe duda que existe una complicada sinergia que afecta al aprendizaje de la evolución, que incluye las ideas previas del alumno (Alters & Nelson, 2002). Para que el alumnado comprenda los conceptos de evolución correctamente, las ideas previas deben detectarse y trabajarse en la clase. Si no se hace, puede que los alumnos no comprendan las explicaciones o que aprendan los conceptos para el examen pero vuelvan a sus preconcepciones posteriormente (Bransford et al., 2000).

Una de las herramientas que se pueden utilizar son herramientas de evaluación inicial. Cunningham y Wescott (2009) suministran una encuesta (BEL Survey) a sus alumnos universitarios durante la semana inicial y después adaptan las instrucciones y la proyección didáctica según los resultados de esta encuesta. Las instrucciones posteriores a la encuesta incluyen un debate en clase de las ideas previas erróneas de los estudiantes.

Para entender las ideas previas de los estudiantes sobre la teoría de la evolución se deben estudiar los orígenes y los factores que pueden influir en el desarrollo de esas preconcepciones como pueden ser: Ideas preconcebidas por experiencias propias, ideas previas autoconstruidas, ideas previas aprendidas e ideas previas religiosas, míticas o tradicionales (Modell et al., 2005).

Para ayudar a los alumnos a formar esquemas mentales nuevos y enmarcados dentro de la ciencia el profesor debe tener una base sólida en teoría de la evolución y desafortunadamente esto no siempre es así. Yates y Marek (2011) muestran que los profesores de secundaria tienen un ratio medio de 23% de ideas previas erróneas, frente al 39% de ratio medio de ideas previas erróneas de los alumnos de primer año de secundaria (Yates & Marek, 2015). Es sorprendente la gran cantidad de ideas

previas erróneas que los profesores tienen y hace cuestionar si los alumnos conseguirán completar la secundaria superando sus ideas previas o no.

La evolución debería utilizarse como una idea unificadora e integradora de la biología, permitiendo a los alumnos asociar diversos conceptos de áreas como la genética, la clasificación y biodiversidad, las funciones y adaptaciones corporales, embriología y desarrollo... Para ello se deben establecer estrategias que aseguren que los profesores poseen el suficiente conocimiento de biología evolutiva y la habilidad para reconocer y trabajar las ideas previas de los alumnos.

### 3.2.3 Métodos de enseñanza para ciencias

Además del análisis de las ideas previas para conseguir el cambio conceptual de los esquemas mentales del alumno, en la proyección didáctica de este TFM se propone el uso de la siguiente metodología:

#### *a) Uso de TICs*

La incorporación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la enseñanza supone un método novedoso de interacción estudiante-profesor. Su uso supone un cambio de una forma u otra en el aula o en la clase en sí.

El uso de TIC exige capacitación por parte del docente y además el romper los esquemas tradicionales. Estas tecnologías cambian la forma en la que el alumno aprende y permiten guiar al alumno hacia el aprendizaje significativo, dotar de nuevo conocimiento, mejorar el dominio de la tecnología, aumentar su potencial en cualquier escenario competitivo y mejorar su integración laboral (Gámez, Rodríguez y Torres, 2018).

Algunas de sus características son la interactividad, la interconexión y la instantaneidad. Según Gámez et al. (2018) las ventajas y desventajas de utilizar TIC son:

#### **Ventajas**

Interacción sin barreras geográficas  
Diversidad de información  
Aprendizaje a ritmo propio  
Desarrollo de habilidades  
Fortalecimiento de la iniciativa  
Corrección inmediata

#### **Desventajas**

Distracciones  
Aprendizaje superficial  
Proceso educativo poco humano  
No es completamente inclusivo  
Puede anular habilidades y capacidad crítica

### *b) Historia de la ciencia*

Según Martínez y Aymerich (2014; p. 266):

*“La Historia y Filosofía de las Ciencias proporcionan narraciones e historias que introducen a los estudiantes en la actividad científica llevada a cabo por personas «reales», con sus propias motivaciones y expectativas, que vivieron situaciones políticas y sociales concretas y que influyeron en su trabajo. También les ofrecen «modelos» con los cuales interpretan tentativamente determinados fenómenos, puesto que la discusión y el convencimiento del oponente forma parte intrínseca de esa actividad. Con ello, se ofrecen recursos importantes para una ciencia escolar en la cual aprender a dialogar es una de sus finalidades”.*

En la proyección didáctica de este TFM, la metodología basada en la historia de la ciencia cobra especial relevancia. Por una parte, existe un interesante paralelismo entre las ideas previas de los alumnos (Yates y Marek, 2015) y la hipótesis Lamarckista del funcionamiento de la evolución. De igual manera que la hipótesis Lamarckista se superó en el ámbito científico, también se deben desterrar las ideas preconcebidas erróneas de carácter Lamarckista de los esquemas mentales de los alumnos.

La interesantísima vida de Charles Darwin supone una excelente fuente de motivación e inspiración para el alumnado, a la vez que les muestra valores científicos tales como la observación natural, la recogida de muestras, la construcción de hipótesis, la rigurosidad, la elaboración de teorías reproducibles y que ofrezcan una explicación de los fenómenos naturales...

Por último, el viaje hasta el neodarwinismo, que sintetiza las leyes de Mendel y la teoría de Darwin tiene un gran interés docente al mostrar al alumno como se unifican la selección natural y la genética para dar lugar a la única teoría unificadora de las ciencias biológicas. Los experimentos de mediados del siglo XX, resultan reveladores para demostrar la solidez del neodarwinismo, como por ejemplo los realizados por Dobzhansky (1943), una figura clave en la biología evolutiva y la genética de poblaciones.

### *c) Aprendizaje basado en la indagación (IBL)*

Según Romero-Ariza (2017) el aprendizaje por indagación o en inglés *“Inquiry-Based Learning (IBL)”* empezó a recibir atención en los años 60, pero comenzó a cobrar protagonismo en los 90. Romero-Ariza muestra que el informe de expertos *Science Education: a renew pedagogy for the future of Europe* afirma que las metodologías basadas en indagación son más efectivas.

Desde entonces el aprendizaje por indagación se ha implantado con éxito en muchos países, siendo las escuelas que lo habían adoptado las que presentaban mejores resultados en las materias de ciencias.

Según Ariza, Aguirre, Quesada, Abril y García (2016):

*La indagación en el aula se define como “Una actividad polifacética que incluye la observación, la formulación de preguntas, la búsqueda de información en libros y otras fuentes para conocer lo que ya se sabe sobre un tema, el diseño y la planificación de investigaciones, la revisión de ideas atendiendo a la evidencia experimental disponible, el manejo de herramientas asociadas a la adquisición, análisis e interpretación de datos, la formulación de respuestas, explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados. La indagación requiere la identificación de asunciones, la aplicación del pensamiento lógico y crítico y la consideración de explicaciones alternativas”.*

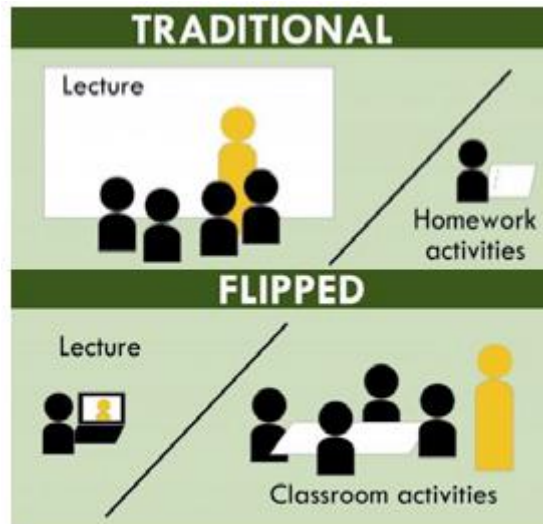
Romero-Ariza (2017) recopila varios meta-análisis que evalúan la eficacia del IBL, en los que se revela que la indagación no guiada no facilita el aprendizaje mientras que cuando el proceso está debidamente asistido por el profesor, si se obtienen beneficios importantes. En este TFM se proponen algunas actividades de aprendizaje por indagación ya que se consideran muy útiles para implicar al alumno y para que adquiriera destrezas científicas.

#### *d) Clase invertida*

Según Maldonado et al. (2017) la clase invertida o en inglés *“flipped classroom”* consiste en que los alumnos estudian la materia fuera del aula, dejando esta para profundizar y ejercitar sobre lo aprendido en casa a través de la realización de actividades diversas, sobre todo prácticas. En este estudio se concluye que es una alternativa pedagógica acorde al desarrollo de las sociedades donde la influencia de la tecnología como mediador es recurrente en todos los posicionamientos.

Supone así un método interesante para combinarlo con metodología basada en TICs y el aprendizaje por indagación como se propone en este TFM.

Los alumnos adquieren un rol protagonista en la clase y el profesor actúa como guía y orientador (Ver **Figura 14**). Esto permite al profesor centrar la atención en las necesidades individuales de cada alumno, en sus carencias y en sus conceptos erróneos personales



**Figura 14.** Tomada de Maldonado et al. (2017). Esquemización del modelo tradicional frente al modelo de clase invertida (“Flipped classroom”)

#### 3.2.4 Enseñanza de la evolución en el sistema educativo español

El sistema educativo organiza y regula la educación de cada país. En las sociedades con desarrollo socioeconómico alto se prioriza la educación, ya que es un elemento fundamental para el desarrollo y avance de la sociedad, para ello se organiza y estructura bajo un sistema educativo. Cabe destacar que los sistemas educativos están estrechamente ligados a política y ámbito socioeconómico (García Requena, 1997).

El sistema educativo español ha sufrido numerosos cambios, debido a eventos de importancia como el establecimiento de la democracia y la Constitución y los consiguientes cambios de gobierno. Hasta la fecha, en España han existido las siguientes leyes educativas: Ley General de Educación (LGE, 1970), Ley de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE, 1990), Ley Orgánica de Calidad Educativa (LOCE, 2003) que no se llegó a implementar y fue derogada por la Ley Orgánica de Educación (LOE, 2006), la cual en la actualidad se encuentra modificada por la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE, 2013).

A continuación se muestra en cada una de las leyes educativas citadas anteriormente cómo se plantean (si es que se hace) los temas relacionados con evolución biológica.

##### *a) Ley General de Educación (LGE, 1970)*

Entra en vigor el 4 de agosto de 1970, Ley 14/1970. Estableció la enseñanza obligatoria hasta los 14 años (Educación General Básica, EGB) y después se accedía al Bachillerato Unificado Polivalente (BUP) o a Formación Profesional (FP).

La EGB eran 8 cursos obligatorios y el BUP constaba de tres años de carácter no obligatorio, seguidos de un Curso de Orientación Universitaria (COU) requerido para iniciar los estudios universitarios.

En el Real Decreto 3087/1982 (12 de Noviembre), por el que se fijan las enseñanzas mínimas para el ciclo superior de EGB no se hace ninguna mención a la evolución ni a la selección natural. La única alusión remotamente cercana es en la asignatura de "Ciencias de la Naturaleza y tecnología" donde uno de los objetivos del "Bloque temático 2: Conocimiento del medio" es "*Conocer, idear y aplicar criterios de identificación y clasificación de animales y plantas*", el cual parece más enfocado a taxonomía descriptiva que a aplicar conceptos evolutivos.

Con respecto al Bachillerato Unificado Polivalente (BUP), se ha consultado la ORDEN de 22 de marzo de 1975 por la que se desarrolla el Decreto 160/1973, de 23 de enero que aprueba el Plan de Estudios del Bachillerato, y se regula, el Curso de Orientación Universitario. Aquí, si se observa contenido relacionado con la evolución:

En el 1º curso de BUP, en la asignatura de Ciencias Naturales se dan los siguientes temas:

Tema 15. La herencia biológica. Genética humana.

Tema 16. La historia de la vida. Paleontología.

Tema 17. La evolución: El origen del hombre

Además, se establece el siguiente objetivo: Estudio del origen, desarrollo y evolución de los seres vivos que sobre la tierra han existido y viven la actualidad.

Este sistema fue sustituido por la LOGSE en 1990

#### *b) Ley de Ordenación General del Sistema Educativo (LOGSE, 1990)*

Sustituía a la LGE, vigente durante la dictadura de Franco. Supuso el inicio de una gestión democrática y basada en los principios de la constitución.

La LOGSE proponía una estructura con 6 cursos de primaria y 6 de secundaria obligatorios (ESO) más un Bachillerato de dos años no obligatorio, tras el cual realizaban la prueba de acceso a la universidad.

Según el Real Decreto 1007/1991, de 14 de junio, se establece las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y no se aprecia ningún contenido relacionado con la evolución.

Según el Real Decreto 1179/1992, de 2 de octubre, por el que se establece el currículo del Bachillerato en la Modalidad de Ciencias de la Naturaleza y Salud:

En la asignatura Biología y Geología de 1º de Bachillerato se da un tema entero denominado Origen y Evolución de los seres vivos con los siguientes contenidos:

- Distintas concepciones sobre el origen de la vida. Explicaciones científicas actuales.
- Las teorías preevolucionistas y evolucionistas. Algunas características de la polémica y la influencia de factores extra científicos.
- La teoría de la evolución. Teorías evolutivas actuales. El problema de las relaciones filogenéticas. Algunos ejemplos de estas relaciones en animales y vegetales.
- Fases fundamentales en la evolución de los homínidos.

En la asignatura Biología (2º Bachiller) se dan los siguientes contenidos de Evolución:

- Sobre fisiología celular: Estudio de la meiosis, Su necesidad biológica en la reproducción sexual. Importancia en la evolución de los seres vivos.
- Sobre la base química de la herencia (genética molecular): Alteraciones en la información genética. Consecuencias e implicaciones en la adaptación y evolución de las especies. Selección natural.

Si no se cursaban Biología y Geología de 1º de Bachillerato y/o Biología de 2º de Bachillerato, en la modalidad de Ciencias de la Naturaleza y Salud, los alumnos NO eran introducidos al concepto de evolución biológica en ningún momento de su etapa educativa.

Fue derogada por la Ley Orgánica de Educación (LOE) en el año 2006.

### *c) Ley de Educación (LOE, 2006)*

Organizada en los mismos cursos en secundaria y bachillerato que la LOGSE.

Según el Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria:

En Biología y Geología de 4º de ESO, se da un bloque completo, el Bloque 3 (La evolución de la vida) en el que se imparten los contenidos incluidos en el **ANEXO 1** por su longitud.

Según el Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del Bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas, aparecen los siguientes contenidos relacionados con la evolución:

En Ciencias Del Mundo Contemporáneo, en el bloque 2. Nuestro lugar en el Universo:

- El origen de la vida. De la síntesis prebiótica a los primeros organismos: principales hipótesis
- Del fijismo al evolucionismo. La selección natural darwiniana y su explicación genética actual.

- De los homínidos fósiles al *Homo sapiens*. Los cambios genéticos condicionantes de la especificidad humana.

En la asignatura Filosofía y Ciudadanía, en el bloque 3. El ser humano: persona y sociedad:

- La dimensión biológica: evolución y hominización

En la asignatura Biología y Geología (1º Bachillerato) aunque no existen contenidos específicos de evolución, al tratarse la biodiversidad de la tierra, se utiliza como hilo conductor la teoría de la evolución y se especifica lo siguiente en la ley:

“Se trata de reflexionar sobre los principales problemas que tiene un ser vivo para existir (tamaño, forma, agresiones del entorno, etc.) y la diversidad de modos de vida (organización interna, conductas, interdependencia de su hábitat, etc.) como **respuesta adaptativa** a las condiciones del ambiente. El estudio detenido, en el nivel macroscópico, de los principales taxones de seres vivos no se ha hecho en la enseñanza obligatoria y parece necesario hacerlo ahora como base para una **comprensión de la evolución**, mostrando las diferentes posibilidades de solución a un mismo problema que explora la vida.

Así pues, los contenidos de la materia vinculados a la biología, ofrecen una visión unitaria de los seres vivos, no tanto por su composición, cuyo estudio se deja para el curso siguiente, sino por los problemas que deben resolver para su supervivencia. Las distintas formas de abordarlos ofrecen los datos necesarios en los que sustentar la **teoría de la evolución**, eje conductor de los contenidos, proporcionando las bases necesarias para el estudio de la biología moderna y de las ciencias de la Tierra y medioambientales.”

En la asignatura Biología (2º Bachillerato), en el bloque 2. Morfología, estructura y funciones celulares:

- La división celular. La mitosis en células animales y vegetales. La meiosis. Importancia en la evolución de los seres vivos.

En el bloque 3. La herencia. Genética molecular:

- Alteraciones en la información genética; las mutaciones. Los agentes mutagénicos. Mutaciones y cáncer. Implicaciones de las mutaciones en la evolución y aparición de nuevas especies.

#### *d) Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE, 2013)*

Esta Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre (LOMCE) modificó la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo (LOE). El objetivo fue bajar la tasa de abandono, mejorar resultados académicos y mejorar la empleabilidad y estimular el espíritu emprendedor del alumno, objetivos que ayudan a entender el contexto de marcada crisis económica. Esta ley introduce pruebas al final de la ESO y Bachiller para obtener el título.

Según el Real Decreto 1105/2014, de 26 de Diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, los contenidos relacionados con la evolución son los siguientes:

En Biología y Geología de 4º de ESO, se reserva un bloque completo para conceptos evolutivos (Bloque 1. La evolución de la vida), desarrollado en **Anexo 2** por su longitud.

En Biología y Geología de 1º de Bachillerato:

En el Bloque 2 (La organización celular): La mitosis y la meiosis. Importancia en la evolución de los seres vivos.

En el Bloque 4 (La biodiversidad) se establece como objetivo la comprensión de la biodiversidad según los conceptos de la evolución

En Biología de 2º de Bachillerato existe un bloque completo para estudiar genética y evolución (Bloque 3), desarrollado en **Anexo 3** por su longitud. Sobre estos elementos curriculares junto a los de la Comunidad Autónoma Andaluza (Orden 14 de julio de 2016) se proyectará, a continuación, la unidad didáctica de Evolución.

Por lo tanto, podemos observar que a lo largo de los últimos 50 años los contenidos sobre evolución han ido cobrando protagonismo. Durante el final de la época franquista el contenido sobre evolución se trataba de forma breve en 1º de BUP. En la actualidad la evolución se considera una materia unificadora y clave de las ciencias biológicas, esto se ve reflejado en que se trata a lo largo de la ESO (especialmente 4º de ESO) y con un bloque temático entero de Genética y Evolución en 2º de Bachillerato.

## **4. Proyección didáctica**

### **4.1 Introducción**

Se tratará una unidad didáctica perteneciente al área de Biología y Geología, orientada a los alumnos de 2º de Bachillerato de la asignatura Biología.

Para un mejor desarrollo de la unidad, queda dividida en los siguientes apartados: Contextualización, Aspectos psicopedagógicos del alumnado y de la enseñanza, Objetivos, Competencias, Contenidos, Metodología, Interdisciplinariedad, Evaluación y Atención al Alumnado con Necesidades Especiales.

La unidad didáctica trata sobre “Evolución”. Es un tema que siempre ha levantado especial interés y supone además un tema en el que las ideas preconcebidas suelen estar extendidas y ser persistentes (Yates & Marek, 2015). La comprensión de la teoría evolutiva requiere de cierto nivel de abstracción, lo que puede hacer que los alumnos tarden en cambiar sus esquemas mentales hacia unos más correctos científicamente. Para ello, a lo largo de esta proyección didáctica, se propondrán metodologías que faciliten a los alumnos la asimilación de los conceptos asociados a la teoría de la evolución.

La evolución es un tema que debe tratarse, durante toda la secundaria, asociada al estudio de diferentes temáticas, ya que se trata de una pieza unificadora de la biología. En esta proyección didáctica nos centraremos en una unidad donde se trata el tema de evolución de manera específica y en un curso (2º Bachillerato) donde los alumnos tienen la suficiente madurez para comprender los abstractos mecanismos que rigen la evolución.

En 2º de Bachillerato los contenidos deben seleccionarse con cuidado porque el alumnado se enfrenta a la Prueba de Acceso a la Universidad. En la legislación se contempla un bloque temático entero para Genética y Evolución y además, en la PAU se pregunta reiteradamente sobre contenidos evolutivos (Como ha ocurrido en la PAU andaluza de Junio de 2019). Esto supone justificación más que suficiente para las sesiones dedicadas a evolución sugeridas en esta proyección didáctica.

Se utilizará como documentos de referencia la legislación vigente:

- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.
- Orden de 14 de julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente al Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

## 4.2 Contextualización

### 4.2.1 Descripción del centro

El centro se encuentra entre tres zonas: Barrio de las Fuentezuelas (barrio residencial de clase media-acomodada), la Avenida Barcelona (perfil similar al anterior) y el Barrio de Peñamefecit (barrio obrero de carácter más humilde). La mayoría del alumnado de secundaria y bachillerato proviene de familias de clase media, pero presenta una gran diversidad al encontrarse también alumnos de familias más humildes, familias más rurales, de clase alta y alumnado procedente de la expulsión o traslado desde otros centros.



**Figura 15.** Vista de satélite del IES Las Fuentezuelas.

En el edificio A (Ver **Figura 15**) se dan la mayoría de clases de ESO y algunas clases de bachillerato (por ejemplo se encuentra el laboratorio de biología y geología, Aula A28). En el edificio B se encuentran las aulas de informática, utilizadas para alguna sesión de esta proyección didáctica. Disponen de unos 25-30 ordenadores por aula.

La jornada escolar del IES Las Fuentezuelas transcurre entre la 8:00 y las 14:30 horas, en módulos horarios de sesenta minutos que transcurren de forma continua hasta las 11:00, hora en la hay establecida una franja de treinta minutos que sirve de recreo. A partir de las 11:30 continúa el horario lectivo.

#### 4.2.2 Descripción del aula

El lugar donde se impartirán las clases es el laboratorio de biología (Aula A28), que cuenta con material para la realización de prácticas, lavabos de seguridad, modelos anatómicos y otra serie de elementos orientados a la enseñanza de Biología y Geología. Como la mayoría de las aulas, esta cuenta con una pizarra tradicional y además un ordenador y un proyector para elementos digitales/audiovisuales.

La unidad va dirigida al alumnado de 2º de Bachillerato de Ciencias de la Salud, este alumnado presenta una edad comprendida entre los 17 y 18 años. Estos alumnos ya tienen cierto grado de madurez pero se encuentran en una etapa difícil y con muchas presiones externas debido a que se enfrentan a la prueba de acceso a la Universidad y a la elección de su carrera profesional. Se encuentran en un período de transición entre la adolescencia y la etapa adulta.

El curso está formado por 28 alumnos, de los cuales 13 son chicos y 15 son chicas. La mayoría de ellos son trabajadores y tienen buena predisposición para el aprendizaje, en parte motivados por el hecho de sacar buena nota para poder acceder al grado Universitario que desean. No hay ningún alumno que necesite adaptaciones curriculares, ni tampoco ningún alumno con diversidad funcional.

### **4.3 Aspectos psicopedagógicos del alumnado y de la enseñanza**

Los alumnos de 2º de Bachillerato empiezan generalmente con 16-17 años y terminan con 17-18 años, habiendo algún alumno repetidor que pueda tener (normalmente) 19 o 20 años.

La adolescencia se extiende desde los 12 a los 18 años de edad, por lo que los alumnos de 2º de Bachillerato se posicionan al final de esta etapa de desarrollo físico y psicológico.

Los alumnos han atravesado ya la mayoría de cambios de la adolescencia:

Cambios en el cuerpo, formación de la personalidad, necesidad de independencia, aparición de inconformismo, desarrollo intelectual, emociones variables, problemas con los padres, interés en el sexo contrario...

Piaget (1964) nos muestra que el desarrollo cognitivo de las personas consiste en una serie de cambios o transformaciones a lo largo de la vida, estas transformaciones suelen llevar asociadas un aumento de razonamiento, habilidad y grado de pensamiento que ayudan a resolver problemas más complejos.

Según Piaget (1964) un alumno de 17-18 años ya estaría en la etapa final, la etapa de las operaciones formales, en la cual la persona tiene uso lógico de símbolos relacionados con conceptos abstractos. Es la etapa que permite un entendimiento de

conceptos más abstractos. Esto es de especial relevancia en la unidad didáctica sobre “Evolución” ya que los conceptos evolutivos requieren un nivel de pensamiento abstracto bastante elevado, especialmente para comprender los mecanismos que la dirigen. Es por ello que aunque la evolución debe tratarse durante toda la secundaria, 2º de Bachillerato es un buen momento para profundizar en los conceptos, en su origen, sus mecanismos y sus consecuencias.

## 4.4 Objetivos

### 4.4.1 Objetivos generales de etapa (OGE)

El Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre establece que el Bachillerato contribuirá a desarrollar en los alumnos y las alumnas las capacidades que les permitan (citando textualmente de la ley):

*\*Se incluyen exclusivamente los objetivos generales de etapa que se abordaran en mayor profundidad en esta unidad didáctica*

- b) Consolidar una madurez personal y social que les permita actuar de forma responsable y autónoma y desarrollar su espíritu crítico. Prever y resolver pacíficamente los conflictos personales, familiares y sociales.*
- e) Dominar, tanto en su expresión oral como escrita, la lengua castellana y, en su caso, la lengua cooficial de su Comunidad Autónoma.*
- g) Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación.*
- h) Conocer y valorar críticamente las realidades del mundo contemporáneo, sus antecedentes históricos y los principales factores de su evolución. Participar de forma solidaria en el desarrollo y mejora de su entorno social.*
- i) Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la modalidad elegida.*
- j) Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos. Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, así como afianzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente.*

#### 4.4.2 Objetivos generales de área (OGA)

Según la orden del 14 julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente al Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía, la enseñanza de la Biología en el Bachillerato tendrá como finalidad el desarrollo de las siguientes capacidades (citando textualmente de la ley):

*\*Se incluyen exclusivamente los objetivos generales de área que se abordaran en mayor profundidad en esta unidad didáctica*

- 2) Afianzar los hábitos de lectura, estudio y disciplina, proponiendo al alumnado la lectura de textos o artículos científicos sencillos que complementen la información obtenida en el aula y le pongan en contacto con ese «currículo abierto» voluntario tan importante para avanzar en el conocimiento científico personal.*
- 3) Dominar, tanto en su expresión oral como escrita, la lengua castellana, valorando cada exposición o ejercicio que realice el alumno o la alumna.*
- 4) Expresarse con fluidez y corrección en una o más lenguas extranjeras, cada vez que un término científico lo requiera, tanto de forma hablada como en los ejercicios escritos.*
- 5) Utilizar con solvencia y responsabilidad las tecnologías de la información y la comunicación, necesarias, no solo para la búsqueda en Internet de la información que necesitemos, sino para la elaboración de las presentaciones, trabajos y exposiciones propuestos en la asignatura.*
- 6) Acceder a los conocimientos científicos y tecnológicos fundamentales y dominar las habilidades básicas propias de la Biología, inherentes al propio desarrollo de la materia.*
- 7) Comprender los elementos y procedimientos fundamentales de la investigación y de los métodos científicos.*
- 8) Conocer y valorar de forma crítica la contribución de la ciencia y la tecnología en el cambio de las condiciones de vida, así como afianzar la sensibilidad y el respeto hacia el medio ambiente, también incluido en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la propia asignatura.*
- 9) Afianzar el espíritu emprendedor con actitudes de creatividad, flexibilidad, iniciativa, trabajo en equipo, confianza en uno mismo y sentido crítico, cada vez que el alumno o alumna participe en un trabajo con exposición y debate en clase.*

#### 4.4.3 Objetivos didácticos (OD)

Se espera, que al concluir la unidad didáctica sobre evolución, los alumnos sean capaces de:

- 1) Comprender los conceptos de evolución, variación, adaptación y herencia (OD1).
- 2) Valorar el desarrollo del conocimiento científico a lo largo de la historia: La teoría de Lamarck, Darwin y la neodarwinista (OD2).
- 3) Poseer una actitud crítica hacia las evidencias científicas y enumerar distintas evidencias del proceso evolutivo (OD3).
- 4) Adquirir capacidad de asociación de conceptos biológicos. Establecer la teoría de la evolución como una teoría unificadora de las ciencias biológicas (OD4).
- 5) Comprender el mecanismo que guía el cambio evolutivo: la selección natural (OD5).
- 6) Reconocer la variación genética como requisito imprescindible para que actúe la selección natural (OD6).
- 7) Reconocer la importancia de la mutación y la recombinación como fuente de variación genética (OD7).
- 8) Analizar la relación de evolución con la biodiversidad de la Tierra. Valorar la importancia de la biodiversidad para un ecosistema sostenible (OD8).
- 9) Reconocer y valorar la fauna y flora regional y local. Comprender el concepto de especiación y sus tipos. (OD9).

Para consultar la relación entre objetivos didácticos, contenidos, criterios de evaluación y competencias clave ver **Anexo 11**.

#### **4.5 Competencias**

El Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, define competencias como: “capacidades para aplicar de forma integrada los contenidos propios de cada enseñanza y etapa educativa, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos”. Se establecen además siete competencias clave:

- 1) Comunicación lingüística (CCL)
- 2) Competencia matemática y competencias básicas en ciencias y tecnología (CMCT)
- 3) Competencia digital (CD)
- 4) Aprender a aprender (CAA)
- 5) Competencias sociales y cívicas (CSC)

- 6) Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIEP)
- 7) Conciencia y expresiones culturales (CEC)

Como se establece en la orden del 14 julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente al Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía, la Biología también ayuda a la integración de las competencias clave ya que (citando de la ley):

- *Aporta el conocimiento del lenguaje de la ciencia en general y de la Biología en particular, ofreciendo un marco idóneo para el debate y la defensa de las propias ideas en campos como la ética científica (CCL)*

*Refuerza la competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) ya que hay que definir magnitudes, relacionar variables, interpretar y representar gráficos, así como extraer conclusiones y poder expresarlas en el lenguaje simbólico de las matemáticas. Por otro lado, el avance de las ciencias en general, y de la Biología en particular, depende cada vez más del desarrollo de la biotecnología, desde el estudio de moléculas, técnicas de observación de células, seguimiento del metabolismo, hasta implantación de genes, etc., lo que implica el desarrollo de esta competencia.*

- *La materia de Biología contribuye al desarrollo de la competencia digital (CD) a través de la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación para la búsqueda, selección, procesamiento y presentación de información como proceso básico vinculado al trabajo científico. Además, sirven de apoyo a las explicaciones, y complementan la experimentación a través del uso de los laboratorios virtuales, simulaciones y otros, haciendo un uso crítico, creativo y seguro de los canales de comunicación y de las fuentes consultadas*
- *La forma de construir el pensamiento científico lleva implícita la competencia de aprender a aprender (CAA) y la capacidad de regular el propio aprendizaje, ya que establece una secuencia de tareas dirigidas a la consecución de un objetivo, determina el método de trabajo, la distribución de tareas cuando sean compartidas y, finalmente, llega a un resultado más o menos concreto. Estimular la capacidad de aprender a aprender contribuye, además, a la capacitación intelectual del alumnado para seguir aprendiendo a lo largo de la vida, facilitando así su integración en estudios posteriores.*

- Por último, el desarrollo de las competencias sociales y cívicas (CSC) se obtiene a través del compromiso con la solución de problemas sociales, la defensa de los derechos humanos, el intercambio razonado y crítico de opiniones acerca de temas que atañen a la población y al medio, y manifestando actitudes solidarias ante situaciones de desigualdad, así como sociales y éticas en temas de selección artificial, ingeniería genética, control de natalidad, trasplantes, etc.

En la tabla 2, se relacionan los objetivos didácticos (OD), los objetivos de etapa (OGE), los de área (OGA) y las competencias clave (CC).

**Tabla 2:** Relación de Competencias Clave con los objetivos didácticos (OD), objetivos generales de etapa (OGE) y objetivos generales de área (OGA)

Objetivos de la Unidad Didáctica	O. G. E	O. G. A	CC
Comprender los conceptos de evolución, variación, adaptación y herencia.	e,h,i	3,6	CCL, CMCT
Valorar el desarrollo del conocimiento científico a lo largo de la historia: La teoría de Lamarck, Darwin y la neodarwinista.	b,h,i,j	2,5,6,7	CMCT, CAA, CD
Poseer una actitud crítica hacia las evidencias científicas y enumerar distintas evidencias del proceso evolutivo.	g,i,j	2,5,6,7,8,9	CMCT CAA, CD
Adquirir capacidad de asociación de conceptos biológicos. Establecer la teoría de la evolución como una teoría unificadora de las ciencias biológicas.	b,g,i,j	6,7,8,9	CMCT, CAA, CD
Comprender el mecanismo que guía el cambio evolutivo: la selección natural.	i,j	4,6,7	CMCT, CCL, CAA
Reconocer la variación genética como requisito imprescindible para que actúe la selección natural.	i,j	4,6,7	CMCT, CAA
Reconocer la importancia de la mutación y recombinación como fuente de variación genética.	i,j	6,7,8	CMCT, CAA
Analizar la relación de evolución con la biodiversidad de la Tierra. Valorar la importancia de la biodiversidad para un ecosistema sostenible.	a,b,h,i,j	6,8,	CMCT, CSC, SIEP
Reconocer y valorar la fauna y flora regional y local. Comprender el concepto de especiación y sus tipos.	a,b,g,h,i,j	5,6,8	CMCT, CSC, CEC, CD

Para consultar la relación entre objetivos didácticos, contenidos, criterios de evaluación y competencias clave ver **Anexo 11**.

## 4.6 Contenidos

Según el Real Decreto 1105/2014, de 26 de Diciembre, se definen contenidos como: “Conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes que contribuyen al logro de los objetivos de cada enseñanza y etapa educativa y a la adquisición de competencias. Los contenidos se ordenan en asignaturas, que se clasifican en materias y ámbitos, en función de las etapas educativas o los programas en que participe el alumnado”.

Los contenidos, con objetivo de mayor claridad, se han elaborado clasificados en tres categorías:

- **De tipo conceptual.** Asociados a un conocimiento. Implican un saber.
- **De tipo actitudinal.** Asociados a una forma de proceder o actuar. Implican un saber ser.
- **De tipo procedimental.** Orientados a unas capacidades o facultades. Implican un saber hacer.

A partir de estas categorías y según la legislación vigente se han elaborado los siguientes contenidos para esta Unidad Didáctica (para consultar relación con el resto de elementos curriculares ver **Anexo 11**):

### 4.6.1 Contenidos de tipo conceptual (CC)

Los contenidos de tipo conceptual de esta unidad son:

1. Concepto de evolución, variación, adaptación y herencia (CC1).
2. Historia de las teorías evolutivas: Lamarckismo, Darwinismo y Neodarwinismo (CC2).
3. Evidencias del proceso evolutivo (CC3).
4. Selección natural como motor del proceso evolutivo (CC4).
5. Variación genética como combustible del proceso evolutivo (CC5).
6. Mutación y recombinación como fuente de variación genética (CC6).
7. La teoría evolutiva como teoría unificadora de la biología. Asociación de la teoría evolutiva a otros ámbitos de la biología (CC7).
8. El origen evolutivo de la biodiversidad terrestre (CC8).
9. Especiación y sus tipos: Alopátrica, Parapátrica y Simpátrica (CC9).
10. Identificación de especies endémicas de Andalucía y la provincia de Jaén (CC10).

### 4.6.2 Contenidos de tipo actitudinal (CA)

Se trabajaran los siguientes contenidos de tipo actitudinal:

1. Rigurosidad científica, consideración de conocimiento científico solo aquel basado en la evidencia (CA1).

2. Actitud crítica. Comprensión de que el conocimiento científico no es un ente inmutable, sino que está sujeto a crítica y cambia con el tiempo (CA2).
3. Objetividad. Capacidad para desterrar ideas preconcebidas de carácter religioso, cultural o político al enfrentarnos a problemas científicos (CA3).
4. Interés. Participación y debate activo en el aula (CA4).
5. Interrelación. Capacitación para relacionar una teoría científica con otros ámbitos de la materia (CA5).

#### 4.6.3 Contenidos de tipo procedimental (CP)

1. Manejo de procedimientos científicos básicos con rigor que permitan el trabajo empírico, estén abiertos a crítica y sean reproducibles (CP1).
2. Interpretación de evidencias para demostrar la teoría evolutiva (CP2).
3. Identificación de ideas preconcebidas erróneas (CP3).
4. Uso de la historia de la ciencia para comprender procesos científicos (CP4).
5. Manejo de conceptos genéticos básicos (CP5).
6. Utilización de la teoría evolutiva como teoría unificadora de la biología (CP6).

### **4.7 Metodología**

A continuación, se expondrá la metodología que se propone para alcanzar los objetivos didácticos específicos propuestos en el apartado 4.4.3. Se utilizarán metodologías que se consideran adecuadas para desterrar las numerosas ideas preconcebidas erróneas que los alumnos tienen en relación a conceptos evolutivos (Yates & Marek, 2015).

#### 4.7.1 Principios metodológicos

En esta unidad didáctica se hace un gran enfoque en las ideas previas de los alumnos sobre evolución, por tanto se abordarán estrategias de conflicto cognitivo y cambio conceptual hacía esquemas de pensamiento neodarwinistas.

Se utilizarán herramientas TICs en forma de cuestionarios interactivos (kahoot), actividades interactivas, buscadores y enciclopedias virtuales para investigación en grupo y en forma de plataformas audiovisuales, como youtube, para visualizar un documental y un vídeo-resumen sobre evolución en Versión Original Subtitulado al español.

Se hará uso de la historia de la ciencia, pues es una potentísima herramienta para enseñar el método científico. Este método cobra relevancia al enseñar la teoría evolutiva debido a la interesante historia que hay detrás de Darwin. También se

utilizará la historia de la ciencia para mostrar los ensayos de Dobzhansky, en una interesante actividad sobre la cual los alumnos investigaran.

Los alumnos trabajaran en grupos para indagar sobre dos temas bajo la guía del profesor (evidencias de la evolución y endemismos en Andalucía). Los alumnos expondrán lo investigado, bajo la tutela del profesor.

En esta proyección didáctica será frecuente el uso de clase invertida, por la cual los alumnos estudiaran los conceptos teóricos en casa (vídeos o texto) para realizar en el aula actividades realmente ilustrativas que mejoren el aprendizaje significativo.

Se trabajarán por tanto: Ideas previas y cambio conceptual, uso de TICs, historia de la ciencia, aprendizaje por indagación (Inquiry-Based Learning, IBL), clase invertida y de forma puntual el método tradicional-expositivo.

#### 4.7.2 Temporalización

Esta unidad está encuadrada en el 3º trimestre del curso de 2º de Bachillerato, en la asignatura Biología. Se desarrolla en algo menos de 3 semanas lectivas con un total de 10 sesiones de 60 minutos, la última sesión será para el examen o prueba escrita.

#### 4.7.3 Desarrollo y secuenciación de las actividades

Sesión 1: Evaluación inicial de las ideas previas sobre evolución		
<b>Descripción de la sesión</b>	<p>En esta sesión inicial, mediante una encuesta, se explorarán las ideas previas de los alumnos respecto a los conceptos evolutivos. Posteriormente se realizará un debate sobre ideas previas para generar conflicto cognitivo.</p> <p>Los resultados de la encuesta serán utilizados posteriormente por el profesor hacer modificaciones en la secuencia didáctica de las diez sesiones y enfatizar conceptos que los alumnos tienen menos claros.</p>	
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>
Realización de encuesta sobre ideas previas de evolución.	<b>25'</b>	Encuesta adaptada a partir de la encuesta BEL de Yates y Marek (2011) para detección de las ideas previas del alumnado (Ver <b>Anexo 4</b> )
Debate sobre ideas previas erróneas más comunes guiado por el profesor.	<b>30'</b>	
Explicación del trabajo en grupo que los alumnos deben presentar en la penúltima sesión. Queda detallado en la sesión 9: Endemismos andaluces y jiennenses.	<b>5'</b>	

**Metodología utilizada:** Conflicto cognitivo/cambio conceptual para desterrar ideas preconcebidas.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión:**

Debido a que se trata de una sesión basada en una encuesta sobre ideas previas, prácticamente se abordan todos los objetivos y contenidos de la unidad didáctica, aunque de forma general (Ver **Anexo 11** para relación de elementos curriculares).

## Sesión 2: Historia de la teoría evolutiva, Parte 1

<b>Descripción de la sesión</b>	<p>Se abordará la epistemología del concepto de evolución desde la Antigua Grecia hasta llegar a Lamarck, Darwin y finalmente la teoría sintética o Neodarwinismo. Para ello se procederá a la lectura individual de un texto suministrado por el profesor.</p> <p>Mediante una secuencia didáctica, se utilizará el paralelismo de ideas previas extendidas entre los alumnos y el Lamarckismo para generar conflicto cognitivo que facilite la adopción por parte del alumnado del verdadero mecanismo evolutivo: la selección natural. Para facilitar la comprensión de la teoría Darwinista se visualizará un vídeo recopilatorio.</p>		
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>	
<p>Lectura de texto sobre la historia de la biología evolutiva</p> <p>Secuencia didáctica para desterrar ideas previas Lamarckistas. Se pondrá en evidencia el paralelismo de las ideas previas de los alumnos con el paso de la teoría Lamarckista a la Darwinista en la historia de la ciencia (Ver <b>Anexo 5</b> para la secuencia didáctica)</p> <p>Visualización de vídeo en Versión Original Subtitulado al Español recopilatorio de la teoría de la evolución y su verdadero mecanismo Darwinista (selección natural). Puesta en común.</p>	<p>15'</p> <p>25'</p> <p>20'</p>	<p>Texto sobre la historia de la biología evolutiva, puede servir de ejemplo el <b>apartado 3.1.1</b> de este TFM</p> <p>Secuencia didáctica de <b>Anexo 5</b></p> <p>Vídeo <i>"How Evolution Works"</i> en versión original (inglés) y subtitulado al español, con 11 minutos de duración.</p> <p>Link:  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=hOfRNOKihOU">https://www.youtube.com/watch?v=hOfRNOKihOU</a> </p>	

**Metodología utilizada:** Historia de la ciencia, conflicto cognitivo/cambio conceptual para desterrar ideas preconcebidas y uso de TICs.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD1	CC1	CA3	CP3, CP5	CE1, CE7	CCL, CMCT
OD2	CC2	CA1, CA2, CA3, CA4	CP1, CP3, CP4	CE2, CE3	CMCT, CAA, CD
OD5	CC4	CA1, CA3	CP1, CP2	CE6	CMCT, CCL, CAA

### Sesión 3: Historia de la teoría evolutiva, Parte 2

<b>Descripción de la sesión</b>	Se verá un documental sobre la vida de Darwin donde se observaran procedimientos del método científico, la recopilación de evidencias de Darwin, el trabajo en el campo, la apertura a crítica de la ciencia y la búsqueda de una teoría que sea reproducible y ofrezca una explicación a los fenómenos naturales.		
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>	
<p>Visionado del documental: <b>El viaje perdido de Darwin</b></p> <p>Durante el documental, profesor irá parando la visualización para comentar en detalle cuando surjan conceptos clave. Se trabajaran así los siguientes conceptos:</p> <p>Del método científico: Formulación de hipótesis, recopilación de evidencias, exposición a crítica, rigurosidad, trabajo de campo, reproducibilidad...</p> <p>De la teoría evolutiva: Selección natural, variación, adaptación, herencia, aparición de nuevas especies (especiación)...</p>	60'	<p>Documental "El viaje perdido de Darwin" de <i>National Geographic</i> (duración de 45 minutos).</p> <p>Link en: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=x7klPlgAx2I">https://www.youtube.com/watch?v=x7klPlgAx2I</a></p>	

**Metodología utilizada:** Uso de TICs e historia de la ciencia.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD2	CC2	CA1, CA2, CA3, CA4	CP1, CP3, CP4	CE2, CE3	CMCT, CAA, CD
OD3	CC3	CA1, CA2, CA3, CA4, CA5	CP1, CP2	CE4	CMCT, CAA, CD
OD4	CC7	CA4, CA5	CP5, CP6	CE5	CMCT, CAA, CD

Sesión 4: Concepto de evolución, variación, adaptación y herencia		
<b>Descripción de la sesión</b>	<p>Se realizará un kahoot con preguntas que aborden las ideas previas erróneas extendidas que serán extraídas de la encuesta de la primera sesión.</p> <p>Se expondrá con el método tradicional-expositivo los conceptos de evolución, variación, adaptación y herencia.</p>	
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>
Realización de “kahoot” con preguntas que aborden las ideas previas erróneas más extendidas en el alumnado sobre temas relacionados con los conceptos de evolución, variación, adaptación y herencia. Puesta en común de dudas.	20'	Sitio web kahoot.it, que permite generar cuestionarios de preguntas tipo test multimedia e interactivos
Clase expositiva-tradicional sobre conceptos clave: Evolución, Variación, Adaptación y Herencia.	30'	Libro de texto.
Breve explicación de la unión de las leyes de Mendel y la teoría de Darwin para dar lugar a la teoría neodarwinista actual	10'	

**Metodología utilizada:** Conflicto cognitivo/cambio conceptual para desterrar ideas previas, uso de TICs y método tradicional-expositivo.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD1	CC1	CA3	CP3, CP5	CE1,CE7	CCL, CMCT
OD2	CC2	CA1, CA2, CA3, CA4	CP1, CP3,CP4	CE2, CE3	CMCT, CAA, CD



## Sesión 6: Selección natural y variación genética, parte 1

<p><b>Descripción de la sesión</b></p>	<p>Los alumnos habrán estudiado en casa la parte del temario sobre el mecanismo evolutivo, la selección natural y sobre variabilidad genética. Además habrán visionado el revelador vídeo “Ciencia express: selección natural”. En esta sesión y la siguiente la mayoría del contenido se trabajará con la metodología “Flipped classroom”, en la que a contraposición del método tradicional el profesor no explicara el contenido, si no que los alumnos lo trabajaran fuera del aula y dedicaran el tiempo en el aula a realizar actividades prácticas que propicien la implicación del alumno y el aprendizaje significativo.</p> <p>Para los alumnos que inevitablemente no hayan consultado nada en casa y a modo de recordatorio se revisará el vídeo “Ciencia express: selección natural” (Debido a su corta duración de 3 minutos).</p> <p>Seguidamente se realizará una demostración dramática en forma de juego, en la que el alumnado observará como actúa la selección natural en tiempo real en dos poblaciones (representadas) que al comienzo son idénticas y tras la actuación de la selección natural han divergido.</p> <p>Por último, se pedirá a los alumnos que investiguen sobre mutación y recombinación para entregar una redacción en la sig. sesión</p>	
<p><b>Actividades</b></p>	<p><b>Tiempo</b></p>	<p><b>Recursos y materiales necesarios</b></p>
<p>Revisión del vídeo Ciencia express: selección natural.</p> <p>Demostración dramática de la selección natural, detallada en Anexo 6 y puesta en común de los resultados. Los alumnos deberán ser capaces de comprender la selección natural y responder a la pregunta ¿Es necesario que haya variedad entre individuos para que actúe la selección natural?</p> <p>Los alumnos, tendrán que esquematizar la actividad y redactar qué ha ocurrido, por qué y entregarlo en la próxima clase.</p>	<p>5'</p> <p>52'</p>	<p>Vídeo de youtube: “Ciencia express: selección natural” Link: <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Cz6VTtIQsE">https://www.youtube.com/watch?v=Cz6VTtIQsE</a></p> <p>Actividad detallada en el <b>Anexo 6</b></p>

Se le pedirá a los alumnos que investiguen en casa qué dos mecanismos fuente de variación genética existen (mutación y recombinación). Deberán hacer una breve redacción (media página) sobre ellos para entregar en la próxima clase.	3'	
--	----	--

**Metodología utilizada:** Uso de TICs y clase invertida.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD5	CC4	CA1, CA3	CP1, CP2	CE6	CMCT, CCL, CAA
OD6	CC5, CC6	CA1, CA5	CP2, CP4, CP5	CE7	CMCT, CAA
OD7	CC6	CA5	CP2, CP5, CP6	CE8	CMCT, CAA

### Sesión 7: Selección natural y variación genética, parte 2

<b>Descripción de la sesión</b>	<p>Se reforzarán los importantes conceptos de selección natural y variación genética a través de historia de la ciencia, en un viaje a los experimentos de Dobzhansky de mediados del siglo XX.</p> <p>Esta actividad permitirá comprender a los alumnos que la recogida de datos provenientes de observaciones de la naturaleza permite demostrar la existencia de la selección natural y el cambio evolutivo. La actividad mostrará un ejemplo de variación genética, en forma de alteraciones cromosómicas.</p> <p>Por último se realizará una puesta en común de las conclusiones que los alumnos saquen de esta actividad.</p>		
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>	
Realización de actividad detallada en Anexo 7: El experimento de Dobzhansky (1943) en grupos de 3 personas. Si no les da tiempo a terminarla en clase, deberán acabarla en casa y entregarla en la próxima sesión.	<b>50'</b>	Actividad y materiales detallados en el <b>Anexo 7</b> . Actividad extraída de Cofre y Becerra (2017).	
Puesta en común de las ideas extraídas de la actividad	<b>10'</b>		

**Metodología utilizada:** Clase invertida, historia de la ciencia y aprendizaje por indagación.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD5	CC4	CA1, CA3	CP1, CP2	CE6	CMCT, CCL, CAA
OD6	CC5, CC6	CA1, CA5	CP2, CP4, CP5	CE7	CMCT, CAA
OD7	CC6	CA5	CP2, CP5, CP6	CE8	CMCT, CAA

## Sesión 8: Evolución y biodiversidad. Especiación.

<b>Descripción de la sesión</b>	<p>La sesión se llevará a cabo en el aula de informática y comenzará con una clase teórica expositiva donde se tratarán las consecuencias de la evolución (aparición de especies y barreras reproductivas).</p> <p>Tras la sesión teórica, los alumnos realizarán una actividad interactiva online sobre las consecuencias de la evolución.</p> <p>Para finalizar los alumnos evaluarán la acción didáctica y al profesor, ya que la siguiente sesión será para exponer trabajos y la última para realizar la prueba escrita.</p>		
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>	
<p>Uso del método tradicional expositivo para definir especie (visión biológica, fenotípica y ecológica), el concepto de barrera reproductiva y el concepto de especiación y sus tipos (alopátrica, parapátrica y simpátrica).</p>	<b>25'</b>	Pizarra y proyector, libro de texto	
<p>Realización de actividad interactiva online sobre las consecuencias de la evolución: adaptación, especiación y diversificación. Los alumnos, en casa, tendrán que esquematizar la actividad y redactar un resumen y entregarlo en la próxima sesión.</p>	<b>25'</b>	<p>Recurso online sobre las consecuencias de la evolución. (Ver <b>Anexo 8</b>) Procesador de texto (Word)</p>	
<p>Cuestionario sobre la acción didáctica. Los alumnos redactarán un breve texto (en Word) con su opinión sobre el material y recursos utilizados, el grado de comprensión sobre evolución que han alcanzado y la acción del profesor.</p>	<b>10'</b>		

**Metodología utilizada:** Método tradicional-expositivo, uso de TICs.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD8	CC8, CC9	CA3, CA5	CP5, CP6	CE9, CE10	CMCT, CSC, SIEP
OD9	CC9, CC10	CA4, CA5	CP1, CP6	CE9, CE10, CE11	CMCT, CSC, CEC, CD

### Sesión 9: Endemismos andaluces y jiennenses

<b>Descripción de la sesión</b>	<p>Divididos en 7 grupos de 4 personas, los alumnos expondrán un trabajo sobre una especie endémica de Andalucía y/o Jaén.</p> <p>Los alumnos seguirán el siguiente esquema, proporcionado por el profesor en la primera sesión, para indagar sobre su especie endémica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Búsqueda de relaciones evolutivas de la especie: clasificación, origen evolutivo y filogenia actualizada</li> <li>• Características de la familia/género en general</li> <li>• Características de la especie endémica</li> <li>• Asociación de las características al nicho ecológico de la especie (Búsqueda de adaptaciones locales)</li> </ul>	
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>
<b>Exposición de los trabajos</b>	8' por grupo (60' total)	Ordenador, proyector y pizarra, según la exposición (formato libre) que decidan los alumnos.

**Metodología utilizada:** Clase invertida, aprendizaje por indagación y uso de TICs.

**Elementos curriculares desarrollados en la sesión (Anexo 11 para nomenclatura):**

	CONTENIDOS				
OBJETIVOS	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES	CRIT. EVAL.	C. CLAVE
OD8	CC8, CC9	CA3, CA5	CP5, CP6	CE9, CE10	CMCT, CSC, SIEP
OD9	CC9, CC10	CA4, CA5	CP1, CP6	CE9, CE10, CE11	CMCT, CSC, CEC, CD

### Sesión 10: Examen teórico

<b>Descripción de la sesión</b>	<p>Se realizará una prueba escrita para evaluar los conocimientos, actitudes y destrezas adquiridas por el alumnado en el transcurso de la unidad didáctica. Las preguntas deben parecerse a las de las pruebas de acceso a la universidad.</p>	
<b>Actividades</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Recursos y materiales necesarios</b>
Realización de prueba escrita	60'	Prueba escrita detallada en el <b>Anexo 9</b>

## 4.8 Interdisciplinaridad

Se propone que los alumnos relacionen contenidos de Biología con contenidos básicos de programación de la asignatura Tecnologías de la Información y la Comunicación II (Comúnmente conocida como Informática).

Para ello se sugiere que los alumnos realicen un programa básico que emule la simulación dramática de la selección natural trabajada en la sesión 6 (ver **Anexo 6**). De esta forma podrán observar lo que ocurre con el paso de las generaciones en un modelo computarizado.

Los contenidos de Tecnologías de la Información y la Comunicación II relacionados se recogen en el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato* siendo los contenidos los del bloque 1 de la asignatura en su totalidad (Programación).

La realización de este programa básico permitirá integrar los conceptos del lenguaje de programación con contenidos evolutivos y en concreto la selección natural, siendo una excelente práctica para ambas asignaturas.

Es necesario que los profesores de Biología e Informática se pongan en contacto y organicen 3-4 sesiones en común para realizar la actividad y favorecer la interdisciplinaridad entre ambas asignaturas.

## 4.9 Evaluación

### 4.9.1 Criterios de evaluación (CE)

Se describen los criterios de evaluación según los objetivos didácticos específicos planteados:

- 1) Sabe explicar con claridad el concepto de evolución y los conceptos clave asociados: variación, adaptación y herencia (CE1).
- 2) Identifica las ideas lamarckistas erróneas y ha conseguido superarlas. Comprende la influencia cultural, religiosa y política en las ideas previas sobre evolución (CE2).
- 3) Valora el desarrollo del conocimiento evolutivo a lo largo de la historia (CE3).
- 4) Reconoce las actitudes correctas a la hora de buscar, utilizar y contrastar evidencias científicas. Valora el potencial de las tecnologías de la información y sabe reconocer fuentes no veraces. Aplica estas actitudes para buscar evidencias que sostengan la teoría evolutiva (CE4).
- 5) Relaciona diversos ámbitos de la biología con la teoría evolutiva. (CE5).
- 6) Comprende el mecanismo de selección natural (CE6).

- 7) Sabe definir variación genética y entiende que es fundamental para que actúe la selección natural (CE7).
- 8) Conoce y sabe cómo actúan las fuentes de variación genética: la mutación y la recombinación (CE8).
- 9) Entiende las consecuencias de la evolución: adaptación, especiación y diversificación (CE9).
- 10) Conoce el concepto de especie, barrera reproductiva y los tipos de especiación: alopátrica, simpátrica y parapátrica (CE10).
- 11) Presenta una actitud de respeto y valora la biodiversidad local. Es capaz de reconocer especies endémicas de la región andaluza y las adaptaciones evolutivas que estas presentan (CE11).

En el **Anexo 11**, se relacionan los criterios de evaluación con los objetivos didácticos, contenidos y competencias clave.

#### 4.9.2 Sistema de evaluación

Se utilizarán los siguientes instrumentos de evaluación:

- Tabla de observación: actitud y comportamiento. Se valorará la predisposición de los alumnos a realizar las actividades propuestas y su interés ante las clases expositivas o el material audiovisual. Ante intervenciones, respuestas correctas, preguntas interesantes o actitudes adecuadas el profesor tomará nota positiva.
- Cuaderno de actividades (sesión 6, 7, 8)
- Toma de notas por la participación en debates y puestas en común (sesión 1 y 7)
- Toma de notas en exposiciones en grupo para las clases invertidas (sesión 5 y 9)

#### 4.9.3 Evaluación del proceso

El fin será la mejora de la intervención didáctica y de la acción del profesor, para ello se evaluará el proceso utilizando las siguientes herramientas:

- Encuesta de ideas previas aplicada en la primera sesión de la intervención didáctica (**Anexo 4**)
- Kahoot en la sesión 4 para ver el progreso de aprendizaje de los alumnos.
- Redacción libre: Los alumnos darán su opinión de la intervención didáctica en la sesión 8. Podrán dar su opinión sobre el material y recursos utilizados, el grado de comprensión sobre evolución que han alcanzado y sobre la acción del profesor.

#### 4.9.4 Criterios de calificación

Los criterios de calificación tenidos en cuenta serán los siguientes (Ver **Figura 16**):

- Prueba escrita (50%). Los alumnos que no superen la prueba, para recuperar esta parte de la calificación, realizarán las actividades del **Anexo 10** en casa. Sesión 10
- Actividades (15%). Sesión 6,7 y 8
- Exposiciones en grupo (20%). Sesión 5 y 9
- Actitudes, comportamiento y participación (15%) Evaluación continúa



**Figura 16.** Criterios de calificación

#### **4.10 Atención al alumnado con Necesidades Específicas de Apoyo Educativo**

En el aula no hay alumnos que necesiten adaptaciones curriculares no significativas, en el caso de que algún alumno tuviese dificultades para comprender y superar la unidad, se proponen una serie de actividades de refuerzo para que puedan alcanzar los objetivos didácticos propuestos en el tema. Las actividades se pueden ver en el **Anexo 10**.

En el caso que hubiera estudiantes con diversidad funcional de carácter físico o problemas de aprendizaje más severos, se llevarán a cabo adaptaciones curriculares individualizadas por parte del docente y en coordinación con el departamento de orientación del centro escolar y el equipo directivo, si fuese necesario.

## 5. Bibliografía

- Allen, M. (2014). *Misconceptions in primary science*. United Kingdom: McGraw-Hill Education.
- Alters, B. J., & Nelson, C. E. (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10), 1891-1901.
- Ariza, M. R., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A. M., & García, F. J. (2016). ¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 297-311.
- Bello Garcés, S. (2004). Ideas previas y cambio conceptual. *Educación química*, 15(3), 210-217.
- Bowler, P. J. (1989). *Evolution: the history of an idea*. Univ of California Press.
- Brakefield, P. M. (1987). Industrial melanism: do we have the answers?. *Trends in Ecology & Evolution*, 2(5), 117-122.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn* (Vol. 11). Washington, DC: National academy press.
- Brewer, C., & Smith, D. (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: A call to action*. Washington, DC: AAAS.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*.
- Cofré, H., Nuñez, P., & Becerra, B. (2017). Una actividad para enseñar selección natural incluyendo la historia de la ciencia: el legado de Dobzhansky llega a la sala de clases. *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias*, 1(1).
- Cox, C. B., & Moore, P. D. (2000). *Biogeography*, 6<sup>th</sup> edn. Boston, Massachusetts: Blackwell Science.
- Cunningham, D. L., & Wescott, D. J. (2009). Still more “fancy” and “myth” than “fact” in students’ conceptions of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 505.
- Crick, F. H. (1968). The origin of the genetic code. *Journal of molecular biology*, 38(3), 367-379.
- Cronin, T. M., & Schneider, C. E. (1990). Climatic influences on species: evidence from the fossil record. *Trends in ecology & evolution*, 5(9), 275-279.
- Darwin, C.R. (1839). *The voyage of the Beagle*. London, United Kingdom.
- Darwin, C.R. (1859). *On the Origin of Species*. London, United Kingdom: John Murray.

- Dobzhansky, T. (1943). Genetics of natural populations IX. Temporal changes in the composition of populations of *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics*, 28(2), 162.
- Dobzhansky, T., & Dobzhansky, T. G. (1970). *Genetics of the evolutionary process* (Vol. 139). Columbia University Press.
- Dobzhansky, T. (2013). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The american biology teacher*, 75(2), 87-92.
- Dodd, D. M. (1989). Reproductive isolation as a consequence of adaptive divergence in *Drosophila pseudoobscura*. *Evolution*, 43(6), 1308-1311.
- Fisher, R. A. (1919). XV.—The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 52(2), 399-433.
- Funk, C., & Rainie, L. (2015). Public and scientists' views on science and society. *Pew Research Center*, 29.
- Gómez, F. I. L., Rodríguez, M. R., & Torres, L. E. S. (2018). Uso y aplicación de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, (25), 16-30.
- Gallego, A., & Muñoz, A. (2015). Análisis de las hipótesis evolutivas en alumnos de Educación Secundaria y Bachillerato. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 14(1), 35–54.
- García Requena, F. (1997). *Organización escolar y gestión de centros educativos*. Malaga, España: Aljibe.
- Gill, D. E. (1989). Fruiting failure, pollination inefficiency, and speciation in orchids. *Speciation and its consequences*, 458-481.
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and outreach*, 2(2), 156.
- Hallgrímsson, B. (2008). *Strickberger's Evolution (4th ed.)*. Sudbury, Massachusetts: Jones and Bartlett Publishers
- Hunt, H. R. (1955). Genetic factors in experimental rat caries. *Advances in experimental caries research*, 66-81.
- Huxley, J. S. (1943). *Evolution, the modern synthesis*.
- Jackman, T. R., & Wake, D. B. (1994). Evolutionary and historical analysis of protein variation in the blotched forms of salamanders of the *Ensatina* complex (Amphibia: Plethodontidae). *Evolution*, 48(3), 876-897.
- Johnston, R. F., & Selander, R. K. (1971). Evolution in the house sparrow. II. Adaptive differentiation in North American populations. *Evolution*, 25(1), 1-28.

- Klug, W. S., Cummings, M. R., & Spencer, C. A. (2006). *Conceptos de Genética*. Madrid, España: Pearson Education.
- Lamarck, J-B. (1809). *Philosophie Zoologique*. Paris, France.
- Malthus, T.R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. London, United Kingdom: J. Johnson.
- Mayr, E. (1963). *Animal species and evolution*. London, United Kingdom: Oxford University Press.
- Maldonado, F. J., Bencomo, O. B. B., Franco, J. S. F., Santos, M. B., Subía, J. C. C., & Alarcón, L. H. V. (2017). La educación invertida. Un nuevo reto para la educación superior. *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Guayaquil*.
- Martínez, Á. G., & Aymerich, M. I. (2014). Contribución de la Historia de las Ciencias al desarrollo profesional de docentes universitarios. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(1), 265-281.
- Mead, L. S., & Scott, E. C. (2010). Problem concepts in evolution part I: purpose and design. *Evolution: Education and Outreach*, 3(1), 78.
- Miller, J. D., Scott, E. C., & Okamoto, S. (2006). Public acceptance of evolution. *Science*, 313(5788), 765-766.
- Modell, H., Michael, J., & Wenderoth, M. P. (2005). Helping the learner to learn: the role of uncovering misconceptions. *The American Biology Teacher*, 67(1), 20-26.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first semester General Chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79(6), 739-744.
- Nehm, R. H., Poole, T. M., Lyford, M. E., Hoskins, S. G., Carruth, L., Ewers, B. E., & Colberg, P. J. (2009). Does the segregation of evolution in biology textbooks and introductory courses reinforce students' faulty mental models of biology and evolution?. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 527.
- Nelson, C. E. (2008). Teaching evolution (and all of biology) more effectively: strategies for engagement, critical reasoning, and confronting misconceptions. *American Zoologist*, 48(2), 213-225.
- Newall, E. (2017). Evolution, Insight and Truth?. *School Science Review*, 99(367), 61-66.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, D.C.: National Research Council.
- Orden de 14 de julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente al Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía. BOJA del 29 de Julio de 2016.

Orden por la que se desarrolla el Decreto 160/1975, de 23 de enero, que aprueba el Plan de Estudios del Bachillerato y se regula el Curso de Orientación Universitaria. BOE del 18 de abril de 1975.

Penny, D., Foulds, L. R., & Hendy, M. D. (1982). Testing the theory of evolution by comparing phylogenetic trees constructed from five different protein sequences. *Nature*, 297, 197-200.

Piaget, J. (1964). Part I: Cognitive development in children: Piaget development and learning. *Journal of research in science teaching*, 2(3), 176-186.

Pierce, B. A. (2006). *Genética, un enfoque conceptual*. Madrid, España: Editorial Medica Panamericana.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.

Real Decreto 3087/1982, de 12 de noviembre, por el que se fijan las enseñanzas mínimas para el ciclo superior de Educación General Básica. BOE del 22 de noviembre de 1982.

Real Decreto 1007/1991, de 14 de junio, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. BOE del 26 junio de 1991.

Real Decreto 1179/1992, de 2 de octubre, por el que se establece el currículo de Bachillerato en la Modalidad de Ciencias de la Salud. BOE del 21 de octubre de 1992.

Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. BOE del 5 de enero de 2007.

Real Decreto 1467/2006, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del Bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. BOE del 6 de noviembre de 2007.

Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. BOE del 3 de enero del 2015.

Ricker, W. E. (1981). Changes in the average size and average age of Pacific salmon. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(12), 1636-1656.

Ridley, M. (2004). *Evolution* (Third Edit). Turin, Italy: Blackwell Publishing.

Robbins, J. R., & Roy, P. (2007). The natural selection: identifying & correcting non-science student preconceptions through an inquiry-based, critical approach to evolution. *The American Biology Teacher*, 69(8), 460-467.

- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias?. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 14(2), 286-299.
- Schliewen, U. K., Tautz, D., & Pääbo, S. (1994). Sympatric speciation suggested by monophyly of crater lake cichlids. *Nature*, 368(6472), 629.
- Schuurman, R., Nijhuis, M., van Leeuwen, R., Schipper, P., de Jong, D., Collis, P., ... & Kwok, S. (1995). Rapid changes in human immunodeficiency virus type 1 RNA load and appearance of drug-resistant virus populations in persons treated with lamivudine (3TC). *Journal of Infectious Diseases*, 171(6), 1411-1419.
- Smith, T. B., & Girman, D. J. (2000). Reaching new adaptive peaks: evolution of alternative bill forms in an African finch. *Adaptive genetic variation in the wild*, 139-156.
- Smith, C. M., & Sullivan, C. (2007). *The Top 10 Myths about Evolution*. Amherst, NY: Prometheus Books.
- Yates, T. B., & Marek, E. A. (2011). *Student acquisition of biological evolution-related misconceptions: The role of public high school introductory biology teachers*. The University of Oklahoma.
- Yates, T. B., & Marek, E. A. (2015). A study identifying biological evolution-related misconceptions held by prebiology high school students. *Creative Education*, 6(08), 811-834.

## **6. Anexos**

### **ANEXO 1: Contenidos de evolución en Biología y Geología de 4º ESO (LOE)**

#### **Bloque 3. La evolución de la vida (Biología y Geología de 4º de ESO, según la LOE)**

La célula, unidad de vida. La teoría celular y su importancia en Biología. La célula como unidad estructural y funcional de los seres vivos.

Los procesos de división celular. La mitosis y la meiosis. Características diferenciales e importancia biológica de cada una de ellas.

Estudio del ADN: composición, estructura y propiedades. Valoración de su descubrimiento en la evolución posterior de las ciencias biológicas.

Los niveles de organización biológicos. Interés por el mundo microscópico.

Utilización de la teoría celular para interpretar la estructura y el funcionamiento de los seres vivos.

La herencia y la transmisión de los caracteres: El mendelismo. Resolución de problemas sencillos relacionados con las leyes de Mendel.

Genética humana. La herencia del sexo. La herencia ligada al sexo. Estudio de algunas enfermedades hereditarias.

Aproximación al concepto de gen. El código genético. Las mutaciones.

Ingeniería y manipulación genética: aplicaciones, repercusiones y desafíos más importantes. Los alimentos transgénicos. La clonación. El genoma humano.

Implicaciones ecológicas, sociales y éticas de los avances en biotecnología genética y reproductiva.

Origen y evolución de los seres vivos: Hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra. Evolución de los seres vivos: teorías fijistas y evolucionistas.

Datos que apoyan la teoría de la evolución de las especies. Reconocimiento de las principales características de fósiles representativos. Aparición y extinción de especies.

Teorías actuales de la evolución. Gradualismo y equilibrio puntuado.

Valoración de la biodiversidad como resultado del proceso evolutivo. El papel de la humanidad en la extinción de especies y sus causas.

Estudio del proceso de la evolución humana.

## ANEXO 2: Elementos curriculares de evolución en Biología y Geología de 4º ESO (LOMCE)

### Biología y Geología. 4º ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables.
<b>Bloque 1. La evolución de la vida</b>		
<p>La célula. Ciclo celular. Los ácidos nucleicos. ADN y Genética molecular. Proceso de replicación del ADN. Concepto de gen. Expresión de la información genética. Código genético. Mutaciones. Relaciones con la evolución. La herencia y transmisión de caracteres. Introducción y desarrollo de las Leyes de Mendel. Base cromosómica de las leyes de Mendel. Aplicaciones de las leyes de Mendel. Ingeniería Genética: técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética. Origen y evolución de los seres vivos. Hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra. Teorías de la evolución. El hecho y los mecanismos de la evolución. La evolución humana: proceso de hominización.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Determinar las analogías y diferencias en la estructura de las células procariotas y eucariotas, interpretando las relaciones evolutivas entre ellas.</li> <li>2. Identificar el núcleo celular y su organización según las fases del ciclo celular a través de la observación directa o indirecta.</li> <li>3. Comparar la estructura de los cromosomas y de la cromatina.</li> <li>4. Formular los principales procesos que tienen lugar en la mitosis y la meiosis y revisar su significado e importancia biológica.</li> <li>5. Comparar los tipos y la composición de los ácidos nucleicos, relacionándolos con su función.</li> <li>6. Relacionar la replicación del ADN con la conservación de la información genética.</li> <li>7. Comprender cómo se expresa la información genética, utilizando el código genético.</li> <li>8. Valorar el papel de las mutaciones en la diversidad genética, comprendiendo la relación entre mutación y evolución.</li> <li>9. Formular los principios básicos de Genética Mendeliana, aplicando las leyes de la herencia en la resolución de problemas sencillos.</li> <li>10. Diferenciar la herencia del sexo y la ligada al sexo, estableciendo la relación que se da entre ellas.</li> <li>11. Conocer algunas enfermedades hereditarias, su prevención y alcance social.</li> <li>12. Identificar las técnicas de la Ingeniería Genética: ADN recombinante y PCR.</li> <li>13. Comprender el proceso de la clonación.</li> <li>14. Reconocer las aplicaciones de la Ingeniería Genética: OMG (organismos modificados genéticamente).</li> <li>15. Valorar las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante en la agricultura, la ganadería, el medio ambiente y la salud.</li> <li>16. Conocer las pruebas de la evolución. Comparar lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo.</li> <li>17. Comprender los mecanismos de la evolución destacando la importancia de la mutación y la selección. Analizar el debate entre gradualismo, saltacionismo y neutralismo.</li> <li>18. Interpretar árboles filogenéticos, incluyendo el humano.</li> <li>19. Describir la hominización.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Compara la célula procariota y eucariota, la animal y la vegetal, reconociendo la función de los orgánulos celulares y la relación entre morfología y función.</li> <li>2.1. Distingue los diferentes componentes del núcleo y su función según las distintas etapas del ciclo celular.</li> <li>3.1. Reconoce las partes de un cromosoma utilizándolo para construir un cariotipo.</li> <li>4.1. Reconoce las fases de la mitosis y meiosis, diferenciando ambos procesos y distinguiendo su significado biológico.</li> <li>5.1. Distingue los distintos ácidos nucleicos y enumera sus componentes.</li> <li>6.1. Reconoce la función del ADN como portador de la información genética, relacionándolo con el concepto de gen.</li> <li>7.1. Ilustra los mecanismos de la expresión genética por medio del código genético.</li> <li>8.1. Reconoce y explica en qué consisten las mutaciones y sus tipos.</li> <li>9.1. Reconoce los principios básicos de la Genética mendeliana, resolviendo problemas prácticos de cruzamientos con uno o dos caracteres.</li> <li>10.1. Resuelve problemas prácticos sobre la herencia del sexo y la herencia ligada al sexo.</li> <li>11.1. Identifica las enfermedades hereditarias más frecuentes y su alcance social.</li> <li>12.1. Diferencia técnicas de trabajo en ingeniería genética.</li> <li>13.1. Describe las técnicas de clonación animal, distinguiendo clonación terapéutica y reproductiva.</li> <li>14.1. Analiza las implicaciones éticas, sociales y medioambientales de la Ingeniería Genética.</li> <li>15.1. Interpreta críticamente las consecuencias de los avances actuales en el campo de la biotecnología.</li> <li>16.1. Distingue las características diferenciadoras entre lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo</li> <li>17.1. Establece la relación entre variabilidad genética, adaptación y selección natural.</li> <li>18.1. Interpreta árboles filogenéticos.</li> <li>19.1. Reconoce y describe las fases de la hominización.</li> </ol>

## ANEXO 3: Elementos curriculares de evolución en Biología de 2º de Bachiller (LOMCE)

Contenidos	Criterios evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
<b>Bloque 3. Genética y evolución</b>		
<p>La genética molecular o química de la herencia. Identificación del ADN como portador de la información genética. Concepto de gen.</p> <p>Replicación del ADN. Etapas de la replicación. Diferencias entre el proceso replicativo entre eucariotas y procariotas.</p> <p>El ARN. Tipos y funciones</p> <p>La expresión de los genes.</p> <p>Transcripción y traducción genéticas en procariotas y eucariotas. El código genético en la información genética</p> <p>Las mutaciones. Tipos. Los agentes mutagénicos.</p> <p>Mutaciones y cáncer.</p> <p>Implicaciones de las mutaciones en la evolución y aparición de nuevas especies.</p> <p>La ingeniería genética. Principales líneas actuales de investigación.</p> <p>Organismos modificados genéticamente.</p> <p>Proyecto genoma: Repercusiones sociales y valoraciones éticas de la manipulación genética y de las nuevas terapias génicas.</p> <p>Genética mendeliana. Teoría cromosómica de la herencia. Determinismo del sexo y herencia ligada al sexo e influida por el sexo.</p> <p>Evidencias del proceso evolutivo.</p> <p>Darwinismo y neodarwinismo: la teoría sintética de la evolución.</p> <p>La selección natural. Principios.</p> <p>Mutación, recombinación y adaptación.</p> <p>Evolución y biodiversidad.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analizar el papel del ADN como portador de la información genética.</li> <li>2. Distinguir las etapas de la replicación diferenciando los enzimas implicados en ella.</li> <li>3. Establecer la relación del ADN con la síntesis de proteínas.</li> <li>4. Determinar las características y funciones de los ARN.</li> <li>5. Elaborar e interpretar esquemas de los procesos de replicación, transcripción y traducción.</li> <li>6. Definir el concepto de mutación distinguiendo los principales tipos y agentes mutagénicos.</li> <li>7. Contrastar la relación entre mutación y cáncer</li> <li>8. Desarrollar los avances más recientes en el ámbito de la ingeniería genética, así como sus aplicaciones.</li> <li>9. Analizar los progresos en el conocimiento del genoma humano y su influencia en los nuevos tratamientos.</li> <li>10. Formular los principios de la Genética Mendeliana, aplicando las leyes de la herencia en la resolución de problemas y establecer la relación entre las proporciones de la descendencia y la información genética.</li> <li>11. Diferenciar distintas evidencias del proceso evolutivo.</li> <li>12. Reconocer, diferenciar y distinguir los principios de la teoría darwinista y neodarwinista.</li> <li>13. Relacionar genotipo y frecuencias génicas con la genética de poblaciones y su influencia en la evolución.</li> <li>14. Reconocer la importancia de la mutación y la recombinación.</li> <li>15. Analizar los factores que incrementan la biodiversidad y su influencia en el proceso de especiación.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Describe la estructura y composición química del ADN, reconociendo su importancia biológica como molécula responsable del almacenamiento, conservación y transmisión de la información genética.</li> <li>2.1. Diferencia las etapas de la replicación e identifica los enzimas implicados en ella.</li> <li>3.1. Establece la relación del ADN con el proceso de la síntesis de proteínas.</li> <li>4.1. Diferencia los tipos de ARN, así como la función de cada uno de ellos en los procesos de transcripción y traducción.</li> <li>4.2. Reconoce las características fundamentales del código genético aplicando dicho conocimiento a la resolución de problemas de genética molecular.</li> <li>5.1. Interpreta y explica esquemas de los procesos de replicación, transcripción y traducción.</li> <li>5.2. Resuelve ejercicios prácticos de replicación, transcripción y traducción, y de aplicación del código genético.</li> <li>5.3. Identifica, distingue y diferencia los enzimas principales relacionados con los procesos de transcripción y traducción.</li> <li>6.1. Describe el concepto de mutación estableciendo su relación con los fallos en la transmisión de la información genética.</li> <li>6.2. Clasifica las mutaciones identificando los agentes mutagénicos más frecuentes.</li> <li>7.1. Asocia la relación entre la mutación y el cáncer, determinando los riesgos que implican algunos agentes mutagénicos.</li> <li>8.1. Resume y realiza investigaciones sobre las técnicas desarrolladas en los procesos de manipulación genética para la obtención de organismos transgénicos.</li> <li>9.1. Reconoce los descubrimientos más recientes sobre el genoma humano y sus aplicaciones en ingeniería genética valorando sus implicaciones éticas y sociales.</li> <li>10.1. Analiza y predice aplicando los principios de la genética Mendeliana, los resultados de ejercicios de transmisión de caracteres autosómicos, caracteres ligados al sexo e influidos por el sexo.</li> <li>11.1. Argumenta distintas evidencias que demuestran el hecho evolutivo.</li> <li>12.1. Identifica los principios de la teoría darwinista y neodarwinista, comparando sus diferencias.</li> <li>13.1. Distingue los factores que influyen en las frecuencias génicas.</li> <li>13.2. Comprende y aplica modelos de estudio de las frecuencias génicas en la investigación privada y en modelos teóricos.</li> <li>14.1. Ilustra la relación entre mutación y recombinación, el aumento de la diversidad y su influencia en la evolución de los seres vivos.</li> <li>15.1. Distingue tipos de especiación, identificando los factores que posibilitan la segregación de una especie original en dos especies diferentes.</li> </ol>

## ANEXO 4: Encuesta sobre ideas previas

Basada en Yates y Marek (2011).

Los alumnos tendrán 3 opciones para cada idea, que deberán marcar con una X:

De acuerdo (A), En desacuerdo (D) o no sabe/no contesta (N).

Las distintas categorías están identificadas en el siguiente orden y en distintos colores:

Azul (Ciencia, Método científico y terminología), Verde (Intencionalidad de la evolución), Amarillo (Naturaleza de la evolución), Naranja (Mecanismos evolutivos) y Rosa (Evidencia que apoya la evolución)

Nº	Idea o hecho	A	D	N
1	Una científica teoría que explica un fenómeno natural puede ser clasificada como "suposición" o "impresión".			
2	Los métodos científicos usados para determinar la edad de los fósiles y la tierra son fiables.			
3	Según la segunda ley de la termodinámica, las formas de vida compleja no pueden evolucionar de formas de vida más simples.			
4	La tierra es lo suficientemente antigua para que haya ocurrido la evolución.			
5	La evolución no puede ser considera una explicación fiable porque es solo una teoría.			
6	La evolución siempre resulta en una mejora.			
7	Los miembros de una especie evolucionan por una necesidad interna de evolucionar.			
8	Los rasgos adquiridos durante la vida de un organismo (como por ejemplo los músculos entrenados en el gimnasio) no se pasaran a la descendencia.			
9	Si un rasgo, como tener mayor tamaño es seleccionado, todos los individuos en la siguiente generación tendrán mayor tamaño que los individuos de la generación parental.			
10	La evolución no puede causar que cambien los rasgos de un organismo durante su período de vida.			
11	Los nuevos rasgos en una población aparecen aleatoriamente.			
12	Los organismos individuales se adaptan a su ambiente.			
13	La evolución es un proceso totalmente aleatorio.			
14	El ambiente determina que rasgos están mejor adaptados para la supervivencia			
15	La variación entre individuos de una especie es importante para que ocurra la evolución			
16	"La supervivencia del más fuerte" significa que solo los individuos con más fuerza física sobrevivirán.			
17	El tamaño de una población no afecta a la evolución de una especie.			
18	Las estructuras complejas como el ojo o las alas pueden haberse formado por evolución.			
19	Solo los rasgos beneficiosos se pasan de los padres a la descendencia.			
20	Existe mucha cantidad de evidencia que apoya la teoría de la evolución			
21	Según la teoría de la evolución, los humanos evolucionaron de monos o gorilas.			
22	La evidencia científica indica que humanos y dinosaurios convivieron en el pasado.			
23	La mayoría de los científicos favorece la evolución sobre otras explicaciones sobre la vida.			

## ANEXO 5: Secuencia didáctica para desterrar ideas previas Lamarckistas

- Se expondrá la siguiente actividad:

A una plaga de insectos se le aplican insecticidas y algunos sobreviven, posteriormente los que sobreviven se reproducen y al aplicar insecticida de nuevo no hace ningún efecto. Haz un esquema explicativo de por qué ocurre esto

De forma evidenciada por estudios previos (Yates & Marek, 2015), surgirán un gran número de explicaciones alternativas al darwinismo (La explicación correcta sería que sobreviven los insectos que presentan una variante genética de resistencia al insecticida). Una de las explicaciones más comunes será que los alumnos digan que los insectos “se adaptan” (Lamarckismo).

- El siguiente paso será creación de conflicto cognitivo para evidenciar conceptos Lamarckistas (Creación de incomodidad del alumno con sus ideas previas y dar paso al concepto de selección natural). Por ejemplo, se propone la siguiente pregunta:

Si a una pareja de ratones se les corta la cola al nacer, ¿Sus descendientes nacerán sin cola?

Ante respuestas Lamarckistas, se continúa la intervención:

¿Si a un padre le cortan el brazo o le ponen un parche en el ojo, sus sucesores tendrán más posibilidades de nacer sin brazo o tuertos?

¿Si varias generaciones de personas se tiñen de rubio, sus hijos nacerán rubios?

- Una vez obtenidas respuestas Darwinistas (los individuos nacen igual que nacieron sus padres y no con los rasgos adquiridos durante su período de vida), se continuará:

¿Si los individuos son iguales (o muy parecidos) que los padres en el momento de nacer, por qué no ocurre igual en los insectos?

- Una vez generada la incomodidad con las ideas previas, se procederá a la introducción del concepto de “Selección Natural” mediante la visualización del vídeo de youtube “*How Evolution Works*” que ayudará al alumno a comprender y aceptar la teoría Darwinista de la evolución

Link: <https://www.youtube.com/watch?v=hOfRN0KihOU>

## ANEXO 6: Demostración dramática de la selección natural

Se propone la siguiente demostración dramática de la selección natural:

La clase de 28 alumnos se dividirá en 2 “islas” de 14 alumnos. Una de las islas simulará un clima frío y otra simulará un clima caliente.

Cada alumno recibirá una carta con un número del 1 al 6 y además recibirá una carta que le asignará un individuo con “pelo abrigado” (ventajoso frío) o un individuo con “poco pelo” (ventajoso calor), se repartirán 7 cartas de pelo abrigado y 7 cartas de poco pelo por isla.

Posteriormente el profesor tirará un dado, todos los individuos asignados a un alumno que posea ese número y estén en un clima no ventajoso (pelo abrigado + isla caliente o poco pelo + isla fría) “morirán”, todos los demás individuos que tengan un número menor al que ha salido “se reproducirán” (obtendrán una carta de poco pelo o pelo abrigado igual a la que ya tienen).

Realizar varias repeticiones, observar el resultado (en la isla de clima frío hay muchos individuos con pelo abrigado y viceversa, a pesar de empezar igual) y comentar lo que ha pasado. Se buscará la asociación al mecanismo de selección natural y al concepto de variación genética.



**Figura X.** Cada individuo recibirá una carta de número y otra de individuo (poco pelo o mucho pelo). Si se reproduce, según las condiciones explicadas en la instrucciones, obtendrá otra carta de individuo igual a la original. Si muere, entregará su carta de individuo y dejará de participar hasta que termine la ronda.

## ANEXO 7: Actividad de selección natural

Extraída de Cofre y Becerra (2017)

Introducción:

Teodosio Dobzhansky fue uno de los científicos más influyentes en el desarrollo de la síntesis moderna. Gracias a su trabajo y el de otros investigadores, la evolución se redefinió como "cambios en la frecuencia de los genes que se producen en las poblaciones a través del tiempo". Sin embargo, ¿hay evidencia de cambios en el tiempo en la frecuencia de genes en poblaciones naturales?

Actividades

1: Mire la lámina 1 (Monte San Jacinto, California) y describa el ambiente donde vive *Drosophila pseudoobscura* y proponga una adaptación de la especie a este hábitat.

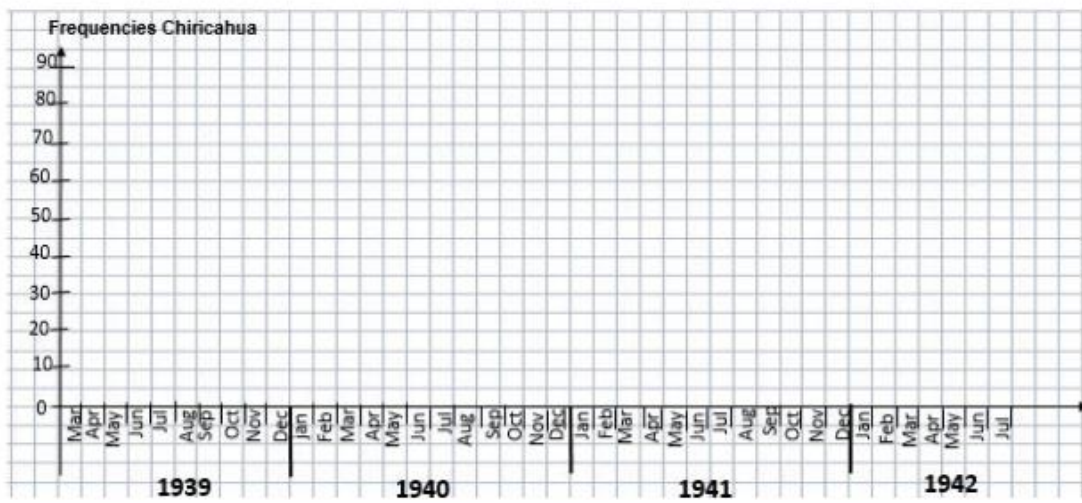
2: Observe el cromosoma 3 de *Drosophila pseudoobscura* en la lámina 2 (lámina I en Dobzhansky & Sturtevant 1938). Como se sabe, algunas moscas naturalmente tenían versiones mutadas de este cromosoma. Por ejemplo, las mutaciones Arrowhead, Santa Cruz y Chiricahua. Ahora mire la mutante Chiricahua y describa qué es distintivo en ella. Para su descripción tenga en cuenta las inversiones o deleciones que pueden haber en relación al cromosoma estandar que se encuentra de forma lineal).

3: Cuando T. Dobzhansky encontró estos diferentes mutantes en poblaciones naturales, se preguntó: ¿La proporción de moscas mutantes dentro de las poblaciones cambiará con el tiempo? En la Tabla 1 se pueden encontrar los datos de frecuencia génica obtenidos por Dobzhansky, para el mutante Chiricahua. Ahora, haga un gráfico con estos datos y luego responda a la pregunta de Dobzhansky.

Tabla 1. Datos mensuales durante cuatro años de las frecuencias de los arreglos del gen Chiricahua en el tercer cromosoma, en las poblaciones de Andreas Canyon (Modificado de Dobzhansky 1943).

Years	Months/ day	Freq.	n	Year s	Months/ day	Freq.	n	Year s	Months / day	Freq.	n
1939	apr-24	6,6	106	1940	apr-20	26,0	100	1941	oct-04	15,4	26
1939	may-13	11,3	62	1940	may-19	28,3	60	1941	nov-08	11,0	100
1939	jun-04	36,8	38	1940	oct-19	6,0	100	1941	dec-6	15,0	100
1939	sep-21	20,6	102	1940	nov-20	9,1	37	1942	jan-11	0,6	146
1939	oct-28	10,8	102	1940	dec-31	6,2	32	1942	feb-02	15,0	100
1939	dec-9	19,2	104	1941	feb-10	13,8	93	1942	mar-14	6,8	44
1940	jan-13	14,4	104	1941	mar-08	14,0	114	1942	apr-2	9,6	104
1940	feb-10	6,1	114	1941	apr-19	12,0	100	1942	may-02	20,7	116
1940	mar-28	12	126	1941	sep-06	14,8	122	1942	jun-12	38,5	104

Figura 1. Gráfico de las frecuencias de los arreglos de genes Chiricahua en las poblaciones de Andreas Canyon.



4: Según el gráfico, ¿cree que es posible decir que hay evidencia empírica para la evolución en las poblaciones naturales? Explique.

5: Lea la siguiente declaración y explique si está de acuerdo con ella o no, basando su respuesta en lo que funcionó en la sesión de hoy. "La teoría de la evolución, propuesta por Darwin hace más de 100 años, ha permanecido como un conocimiento sin cambios hasta hoy".

6: Si debido al calentamiento actual del clima, la temperatura del verano en los años 40 en el cañón de Andreas se puede observar actualmente todo el año. Explique, por el mecanismo de la selección natural, cómo esta nueva presión de selección podría resultar en una nueva subespecie de *D. pseudoobscura*.

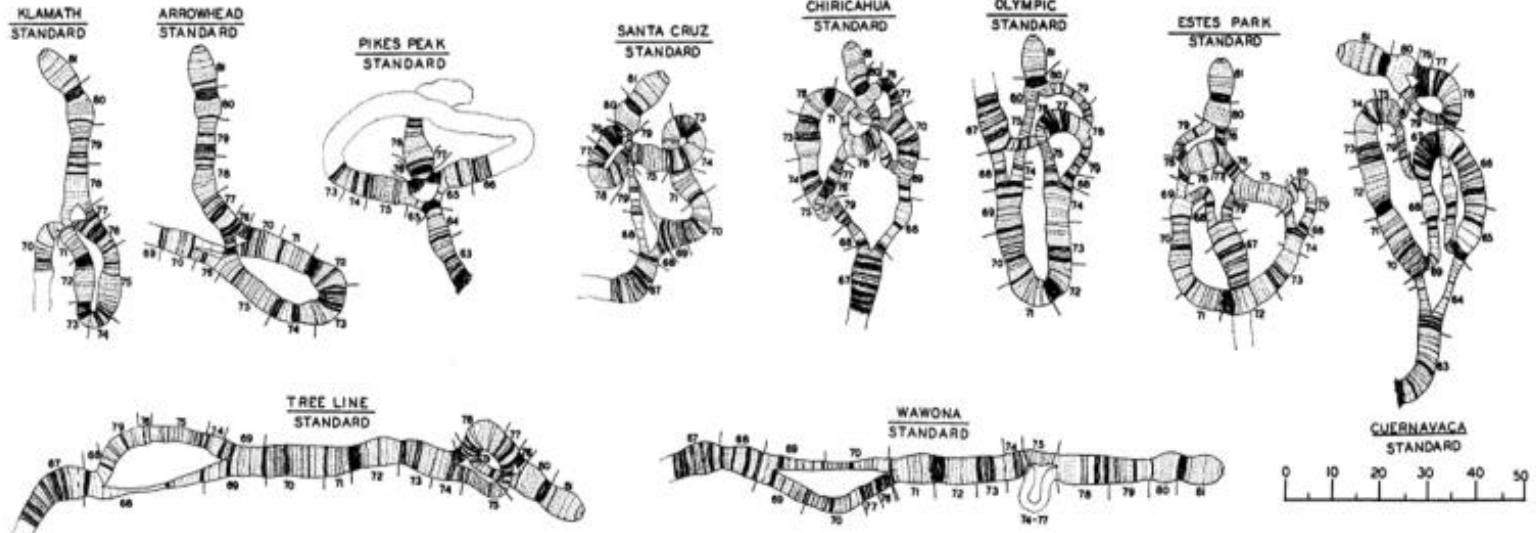
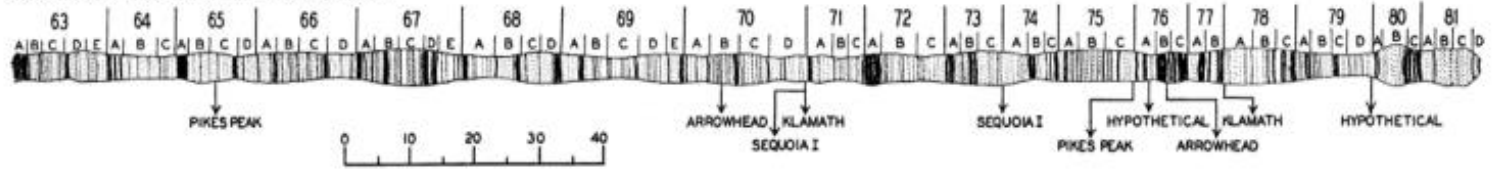
Lámina 1



**T. Dobzhansky**

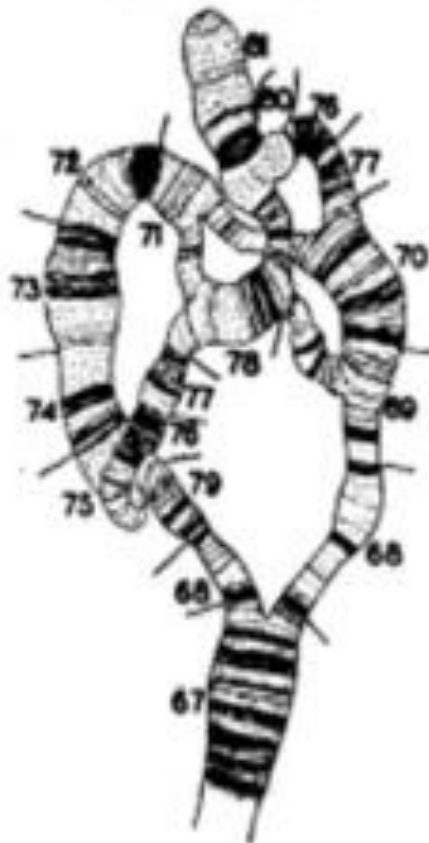
# Lámina 2

DORRBAHET AND STEINHAUS, CHROMOSOMES OF *DROSOPHILA PSEUDOSPECTRA*



Genetics 37: 38 Jan. 1958

## CHIRICAHUA STANDARD



## ANEXO 8: Actividad interactiva sobre consecuencias de la evolución

Se ponen algunas imágenes de la actividad interactiva como muestra, para acceder al material completo:

[http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena9/index\\_4quincena9.htm](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esobiologia/4quincena9/index_4quincena9.htm) (Apartado Consecuencias)

### 4. Los mecanismos de la evolución

#### Consecuencias

La actuación de los mecanismos responsables de la evolución a lo largo del tiempo, ha hecho que los organismos se diversifiquen según los distintos ambientes de la Tierra.

A nivel genético la evolución representa una variación de los tipos de genes a lo largo del tiempo, con cambios de unos alelos por otros en las poblaciones.

Tres son las principales consecuencias del funcionamiento de la evolución:

- La adaptación de los organismos
- La especiación
- La diversificación de especies

#### LA ADAPTACIÓN DE LOS ORGANISMOS

Es toda característica de un organismo que mejora sus posibilidades de supervivencia en un medio ambiente determinado y, por tanto, el número de descendientes que puede dejar a la siguiente generación.

Como el medio cambia, los seres vivos deben cambiar a su vez para poder reproducirse. Cuando el cambio es muy brusco, muchas especies no pueden adaptarse y por ello se extinguen.

Las principales adaptaciones se agrupan en:

Adaptaciones anatómicas

Adaptaciones fisiológicas

Adaptaciones de comportamiento

Pulsa en PLAY para ir a " La especiación "



Actividad interactiva



Pulsa el botón si deseas ver ampliada la animación



#### LA ESPECIACIÓN

Es el proceso por el cual en un grupo de organismos, algunos se diferencian por causas adaptativas y se separan, dando lugar a otro grupo parecido pero con adaptaciones diferentes que con el paso del tiempo, dejan de reproducirse con los del grupo inicial, dando lugar a una especie nueva.

Las causas que separan a los individuos y provocan el aislamiento de una poblaciones pueden ser muchas, entre ellas:

- La creación de nuevas islas.
- La formación de una montaña.
- El aumento de caudal de un río.
- El cambio de hábitos en alimentación.
- El cambio diurno a nocturno o viceversa.

Púlsame para ver un ejemplo

Pulsa en PLAY para ir a " La diversificación de especies "



#### LA DIVERSIFICACIÓN

La gran diversidad de especies es la forma visible de la evolución y una de las pruebas de la misma. Como consecuencia de este proceso se ha originado la actual diversidad de especies existentes sobre la Tierra, la gran variedad de organismos que es la mayor riqueza de nuestro planeta.

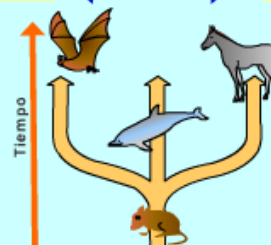
Hay dos formas de evolución según la diversificación de los organismos:

Evolución convergente

púlsame

Evolución divergente

Se produce cuando una población queda aislada del resto de la especie y, como resultado de adaptaciones diferentes, se producen formas distintas pero manteniendo las estructuras del tipo original.



La aparición de las extremidades con cinco dedos en los mamíferos primitivos se ha diferenciado en numerosos tipos, como la pata del caballo, el ala de los murciélagos o las aletas de los delfines.

Pulsa en PLAY para ir a " La adaptación de los organismos "



## Las adaptaciones de los picos de las aves

### Ejercicio de correspondencia

Indica qué tipo de ave se relaciona con su pico y adaptación alimenticia. Luego comprueba tus aciertos.

[Comprobar](#)



???



???



???



???



???



???



???



???

[Comprobar](#)

## ANEXO 9. Prueba escrita final

1) ¿Cuál es la diferencia entre variación y adaptación? **(1 punto)**

2) Verdadero o falso **(2 puntos)**:

- Lamarck no apoyaba la evolución de las especies.
- La teoría neodarwinista sintetiza las leyes de Mendel y la teoría de la evolución de Darwin.
- Darwin consiguió dar una descripción correcta de los mecanismos de herencia.
- Los rasgos perjudiciales de un individuo no se pasan a la descendencia.
- La evolución puede causar el cambio de los rasgos de un organismo durante su período de vida.
- Evolutivamente, sobreviven siempre los más fuertes físicamente.
- La evolución no se puede observar en tiempo humano, pero para demostrarla tenemos evidencias en el registro fósil.

3) Identifica evidencias y explica por qué permiten demostrar la teoría de la evolución **(2 puntos)**.

4) Habitualmente se comenta que el motor de la evolución es la selección natural y su combustible la variación genética.

- a) Explica en detalle esta analogía **(1.5 puntos)**.
- b) Si deja de haber variación en una población, ¿Puede seguir actuando la evolución? ¿Por qué? **(0.75 punto)**
- c) Nombra y explica brevemente mecanismos que originen variación genética **(0.75puntos)**



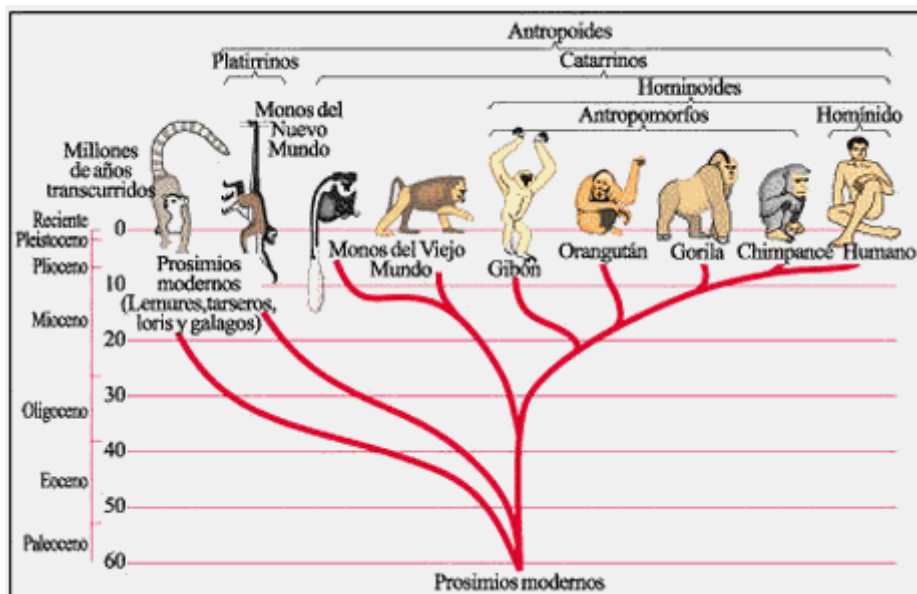
- 5) En la imagen superior se observan diversas especies de pinzones que habitan las islas galápagos. Explica el origen de esta biodiversidad **(0.75 punto)**
  
- 6) Enumera y explica brevemente los tipos de especiación **(0.5 puntos)**
  
- 7) Explica el concepto de barrera reproductiva **(0.5 puntos)**
  
- 8) Menciona una especie endémica de Andalucía y que adaptaciones presenta para la supervivencia en su hábitat **(0.25 puntos)**

## ANEXO 10: Actividades de refuerzo y recuperación

### Actividad 1. Une las ideas clave

Lamarckismo	La selección natural es el mecanismo que guía la evolución
Darwinismo	Las adaptaciones se originan por el uso o desuso y son transmitidas a la descendencia
Neodarwinismo	Las especies fueron diseñadas tal y como son ahora.
Creacionismo	La selección natural hace que las frecuencias génicas de una población cambien con el paso del tiempo.

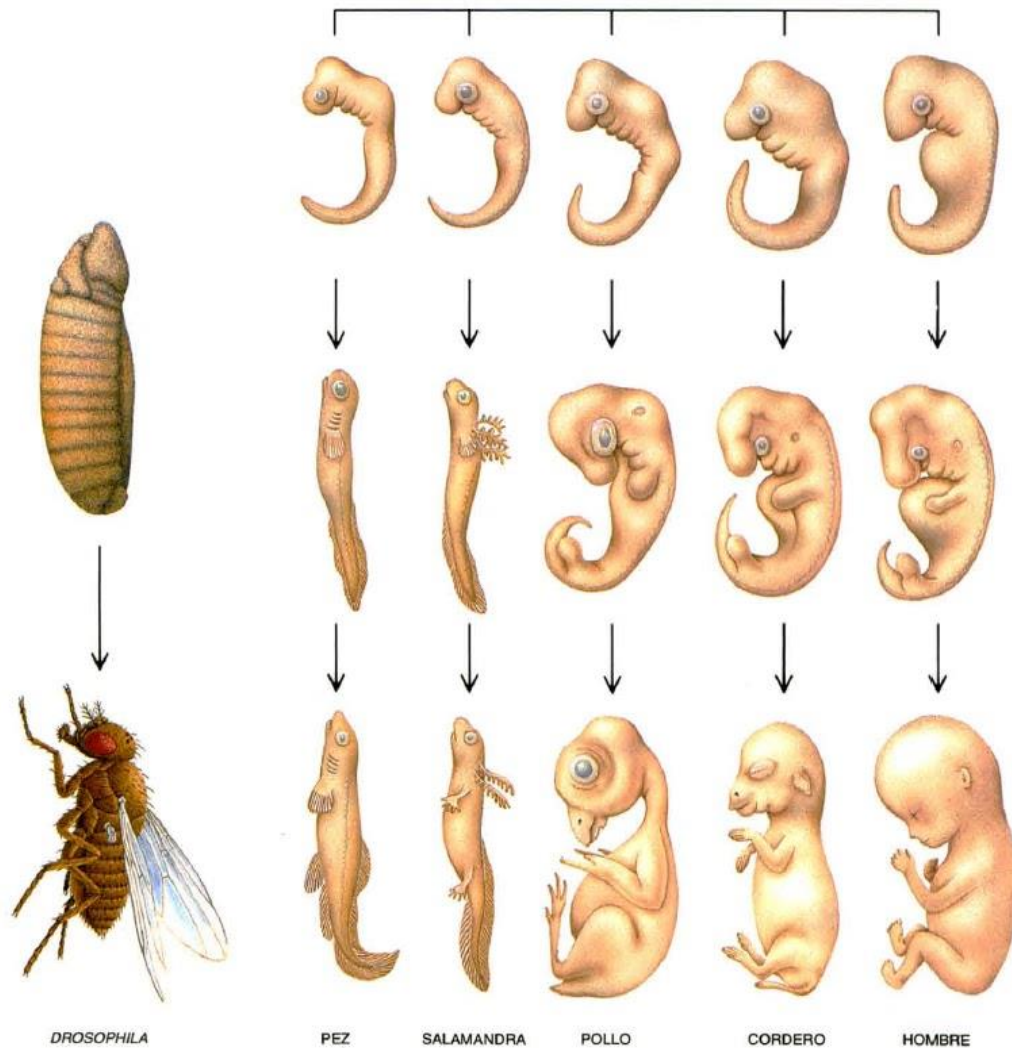
### Actividad 2. Observa este árbol filogenético



Es común escuchar que según la teoría evolutiva el ser humano ha evolucionado del mono o del gorila. Viendo este árbol filogenético, ¿Es cierto? Argumenta tu respuesta. Realiza un árbol filogenético que incluya a peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

**Actividad 3.** Investiga por qué los médicos aconsejan que sigas tomando el antibiótico durante el tiempo que te recomienden, aunque te sientas bien antes. ¿Qué relación tiene con la teoría de la evolución? ¿Crees que este hecho podría usarse como una evidencia evolutiva? Explica por qué

**Actividad 4.** Observa esta imagen sobre desarrollo embrionario



Explica lo que ves y argumenta si podría tratarse de una evidencia de la evolución

**Actividad 5 (Online).** Entra en el link y encuadra las siguientes especies en el REINO que les corresponda

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/evolucion/actividad12.htm>

**Actividad 6 (Investigación y uso de TICs) Microevolución: la evolución en marcha.**

En las páginas de la Wikipedia y de *The Talk Origins Archive* puedes encontrar buenas definiciones de macroevolución y de microevolución. Según esas definiciones, ¿qué diferencia hay entre ambas? ¿Alguno de los dos procesos se pueden estudiar a escala de tiempo humana? Contesta las preguntas.

**Actividad 7 (Lectura de artículo científico)** En el siguiente artículo sobre Lepidópteros puedes leer lo que le sucedió a una mariposa: "Biston betularia: Polimorfismo melánico industrial completo. El caso de Biston betularia".

Link en <http://entomologia.rediris.es/sea/bol/vol26/s5/articulo/index.htm>

¿Crees que la evolución se da hoy en día? ¿Tenemos alguna prueba de ello? Haz un informe de lo que le sucedió a Biston Betularia, indicando por etapas cómo funciona la evolución.

## ANEXO 11: Relación de objetivos, contenidos, criterios de evaluación y competencias clave

OBJETIVOS	CONTENIDOS			CRIT. EVAL.	C. CLAVE
	CONCEPTUALES	ACTITUDINALES	PROCEDIMENTALES		
OD1	CC1	CA3	CP3, CP5	CE1,CE7	CCL, CMCT
OD2	CC2	CA1, CA2, CA3, CA4	CP1, CP3,CP4	CE2, CE3	CMCT, CAA, CD
OD3	CC3	CA1, CA2, CA3, CA4, CA5	CP1, CP2	CE4	CMCT, CAA, CD
OD4	CC7	CA4, CA5	CP5, CP6	CE5	CMCT, CAA, CD
OD5	CC4	CA1, CA3	CP1, CP2	CE6	CMCT, CCL, CAA
OD6	CC5, CC6	CA1, CA5	CP2, CP4, CP5	CE7	CMCT, CAA
OD7	CC6	CA5	CP2, CP5, CP6	CE8	CMCT, CAA
OD8	CC8, CC9	CA3, CA5	CP5, CP6	CE9, CE10	CMCT, CSC, SIEP
OD9	CC9, CC10	CA4, CA5	CP1, CP6	CE9, CE10, CE11	CMCT, CSC, CEC, CD

OD: Objetivos didácticos (Los nueve objetivos didácticos pueden consultarse en el apartado 4.4.3)

CC: Contenidos conceptuales (Pueden consultarse en detalle en el apartado 4.6.1)

CA: Contenidos actitudinales (Pueden consultarse en detalle en el apartado 4.6.2)

CP: Contenidos procedimentales (Pueden consultarse en detalle en el apartado 4.6.3)

CE: Criterios de Evaluación (Pueden consultarse en el apartado 4.9.1)

CCL: Competencia en Comunicación lingüística

CMCT: Competencia Matemática y Competencias básicas en Ciencias y Tecnología

CD: Competencia Digital

CAA: Competencia en Aprender a Aprender

CSC: Competencias sociales y cívicas

SIEP: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor

CEC: Competencia en Conciencia y expresiones culturales