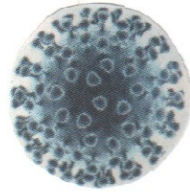
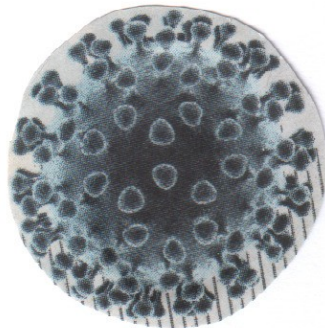


E

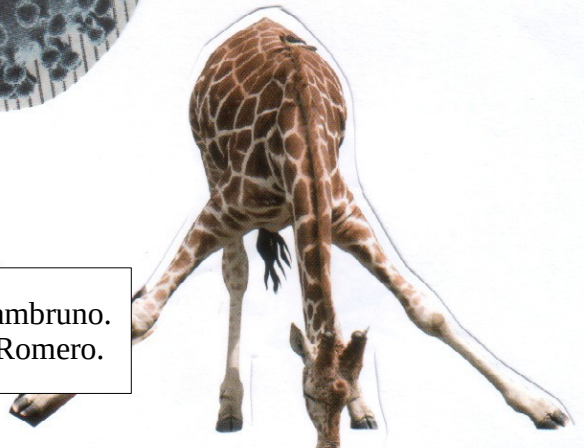


¿CÓMO ENSEÑAR LA EVOLUCIÓN? PROPUESTA DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA

TRABAJO FIN DE GRADO · GRADO EN BIOLOGÍA · CURSO 2020-21



Alumno: Javier Manzano Zambruno.
Tutora: Ana Maria Rincón Romero.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS DIDÁCTICOS Y COMPETENCIAS BÁSICAS	7
3. CONTENIDOS	9
4. METODOLOGÍA, TEMPORALIZACIÓN Y RECURSOS	25
5. ACTIVIDADES	28
6. EVALUACIÓN	29
7. BIBLIOGRAFÍA	31
ANEXO I	33
ANEXO II	37
ANEXO III	41
ANEXO IV	42
ANEXO V	45
ANEXO VI	46

RESUMEN

La evolución es un pilar fundamental de la Biología. Sin embargo, concretamente, su presencia en el plan de estudios del Grado en Biología de la Universidad de Sevilla parece ser insuficiente. En el presente trabajo fin de grado realizamos una síntesis de los contenidos más relevantes entorno al concepto de la evolución biológica y la historia de las teorías evolutivas y desarrollamos una propuesta didáctica completa para su impartición en cursos universitarios, en forma de unidad didáctica.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La enseñanza en la evolución

Los seres vivos no vivimos aislados del resto de elementos que conforman el cosmos. Al contrario, *despertamos* cada día embebidos en un mundo en vertiginoso cambio, que nos transforma. Desde las condiciones meteorológicas hasta las sociales, las características del medio que nos circunda varían de forma muy diversa, modificándonos, poniendo a prueba nuestras aptitudes para permanecer con vida; *descartando* a los que carezcamos de ellas y dándonos a los que sí las poseamos la oportunidad de reproducirnos.

Según J.M. Baldwin [1], un filósofo estadounidense, para acceder a ese segundo grupo, no sólo es determinante el *qué poseemos*, es decir, el material biológico con el que nacemos, esencialmente nuestro genoma; sino el *qué podemos hacer* con él, de qué forma nuestro organismo va moldeándose a lo largo de nuestra vida, lo que, más adelante, otros autores han denominado **plasticidad fenotípica** [2, 3].

El quid de la cuestión está en que, en muchos de estos casos, el genoma pasa a un segundo plano, posibilitando la plasticidad en menor o mayor medida, y es el papel de los elementos del medio el que será determinante en el resultado. Así, los individuos podemos aprehender funciones que nos ayuden a sobrevivir que no son congénitas y que no podremos transmitir a nuestra descendencia, a no ser que recreemos las condiciones del medio; *i.e.*, propiciando la imitación de conductas, la vivencia de ciertas experiencias, la realización de ciertos razonamientos, etc. [1].

A la vista de esto, Baldwin [1] diferencia dos formas mediante las cuales podemos heredar de individuos existentes funciones que nos ayuden a sobrevivir: la **herencia biológica**, que se corresponde con el conjunto de caracteres congénitos, es decir, que heredamos directamente junto con los genes de nuestros padres; y la **herencia social**, que comprende todos esas características que modifican nuestra probabilidad de sobrevivir y que no son expresamente congénitas, sino fruto de la plasticidad fenotípica y nuestra interacción con otros individuos. No obstante, ambos tipos de herencia interactúan entre sí y se pueden combinar, variando la importancia de cada una según la especie.

Centrándonos en el caso del ser humano, la herencia social parece ser la más relevante, en especial a nivel de la conducta [1]. Por ello, no nos ha de extrañar que en la sociedad humana se haya ideado un complejo sistema cuyo fin sea que las nuevas generaciones adquieran esa serie de competencias no congénitas mediante la interacción con individuos que ya cuentan con ellas, cuya permanencia atestigua el éxito de las mismas.

Esta actividad que acabamos de describir y que observamos con frecuencia en el ser humano, siguiendo la definición de Fenstermacher [4], se puede denominar **enseñanza**; ya que en ella hay «al menos dos personas, una de las cuales posee cierto conocimiento, habilidad u otra forma de contenido, mientras que la otra no lo posee; y el poseedor intenta transmitir el contenido al que carece de él, llegando así al establecimiento de una relación entre ambos, con ese propósito». La enseñanza es, por tanto, una actividad natural, muy importante y ventajosa para el ser humano, que aprovecha la enorme plasticidad que proporciona el genoma de los individuos de la especie para que, gracias a esa herencia social, unos -cuyo éxito ya se ha demostrado- modifiquemos a otros, ayudándonos a reproducir ese mismo éxito. Todo ello en constante actualización y adaptación al mundo cambiante que nos rodea. Y no queda todo ahí, tan delicada y esencial es esta tarea que, para realizarla correctamente, es necesario previamente haber aprendido -a su vez- de manos de otros el cómo.

En ese punto es en el que se hace necesaria la **Didáctica**: la disciplina que «se ocupa del estudio de la enseñanza, de los procesos de enseñanza y aprendizaje y de la relación entre ambos procesos» [4]. Lo pertinente será, por ende, para quien quiera transmitir una serie de conocimientos de la mejor forma posible, aprender previamente didáctica y, si además quiere optimizar ese aspecto adaptativo del aprendizaje del que hemos hablado anteriormente, actualizar y revisar la utilidad de los contenidos que va a transmitir. Y esto es precisamente lo que se ofrece en el presente trabajo: una serie de contenidos actualizados y revisados, acompañados de actividades y directrices con los que hacerlos llegar. O dicho de otra forma: una **unidad didáctica** (UD); ya que contiene todo lo necesario para hacer adquirir a otros individuos una serie de competencias sobre un tema determinado; en este caso, sobre la evolución (E).

1.2. La enseñanza de la evolución

Ahora que hemos justificado la importancia -evolutiva- de enseñar, **¿por qué enseñar sobre la E?** Si tenemos de nuevo en cuenta las tesis de Fenstermacher [4], que afirmaba que la relación entre enseñanza y aprendizaje es de dependencia ontológica, es decir, que la enseñanza genera aprendizaje [5]; la respuesta es clara: para posibilitar que otros aprendan sobre E ¿Y por qué aprender sobre E? ¿Qué nos aporta saber sobre ello?

Desde que se tiene constancia, el ser humano se ha interrogado acerca del origen de la vida, de su diversidad, generando cosmogonías particulares y teorías basadas en fenómenos religiosos, demostrando inquietud sobre el tema. Necesitamos saber por qué somos de la forma en que somos, por qué somos diferentes del resto de los seres vivos, por qué nos

parecemos más a unos que a otros, etc. Gracias a Darwin, que ofreció una primera explicación consistente, y a los científicos y las científicas que vinieron antes y después, hoy contamos con toda una teoría, ampliamente respaldada, que responde a estas preguntas [6]. Y es que, volviendo a los manuales de didáctica, debemos también tener en cuenta que, entre otros, el objetivo de la enseñanza es ofrecer «**una formación intelectual mediante el equilibrio socio-afectivo y una instrucción estructuradora de la mente**» [7] ¿Y qué otro conocimiento podría suplir mejor estos requisitos que un conjunto de teorías que nos hacen comprender la bondad y la inevitabilidad de la diversidad que nos rodea y el porqué de que seamos diferentes-pero-iguales, temas tan en boga actualmente? Hoy, más que nunca, parece necesario aprender sobre la E.

Esta razón, entender el origen de la diversidad biológica en sentido amplio, bien puede servir para justificar que cualquier persona aprenda sobre la E; ya que todas convivimos diariamente con cientos de especies diferentes. Sin embargo, los motivos se multiplican si hablamos de personas cuyas profesiones o estudios están relacionados con las ciencias de la vida. En estos casos, la ya mencionada «instrucción estructuradora de la mente» se hace aún más necesaria; porque, en palabras del célebre evolucionista Dobzhansky, «**nada tiene sentido en Biología excepto bajo el prisma de la E**». Dicho de otra forma: la E es, tal y como titula Soler su libro, *la base de la Biología* [6]. Por este motivo, Ayala afirma en el prólogo del libro al que nos acabamos de referir: «la teoría de la evolución (TE) ocupa [...] una posición central en la Biología. Por ello, su enseñanza debe representar un papel importante en los planes de estudios universitarios, como asignatura separada y, también, integrada en la enseñanza de otras disciplinas.»

Ante estas afirmaciones, cabe preguntarnos si le estamos otorgando a la TE el lugar que merece en los planes de los estudios relacionados con las ciencias de la vida, y si estamos logrando enseñarla correctamente. En ambas tareas puede ayudarnos la Didáctica, en tanto que es la ciencia que también se ocupa de la elaboración del *currículum* y del diseño de métodos de evaluación. Es más, diremos que, en general, «se ocupa del estudio de la práctica profesional de la enseñanza, del ejercicio profesional de la misma, de la enseñanza como modo de (ganarse) la vida», incluyendo «todas aquellas prácticas de enseñanza que, ajenas al sistema educativo, y al sistema educativo obligatorio, [...] revisten sin embargo rasgos de institucionalización» [5], como es el caso de la universidad.

En este punto, una de las aportaciones que nos puede hacer la Didáctica y que parece más pertinente comentar es la de la idea de **globalización**, no en el sentido del proceso cultural actual; sino en el de la interdisciplinariedad y el aprendizaje holístico. Según varios

estudiosos [7], para generar aprendizajes significativos es necesario que el alumno establezca conexiones entre lo que previamente sabe y las nuevas informaciones que recibe, a través de conflictos cognitivos y la realización de inferencias, lo que lógicamente se favorece promoviendo la aparición de contenidos comunes a distintas materias que evidencien las interrelaciones que entre ellas existen. Además, la iniciativa de la globalización de los contenidos en la enseñanza ha sido ampliamente impulsada desde las propias instituciones, aunque con poco éxito, promoviendo especialmente la interdisciplinariedad en los niveles más superiores, que requiere una mayor coordinación del cuerpo de profesores [7] ¿Y qué otro contenido parece más idóneo para descubrir las interrelaciones entre las distintas áreas de estudio de las ciencias de la vida que el de la E? Tal y como decíamos anteriormente, de forma natural, parece que el concepto ya ocupa un papel central en la Biología, por lo que presumiblemente será acertado seleccionarlo para generar esa «perspectiva multifocal y holística» que persigue la globalización.

Así, a modo de conclusión, añadiremos esta noción didáctica a las peticiones de Ayala, pidiendo no sólo que la enseñanza de E se sitúe en el eje central de la enseñanza de la Biología, sino que se asegure su calidad a través de la aplicación de los métodos que ya han sido estudiados de mano de la Didáctica, como el de la interdisciplinariedad, para conseguir una visión mucho más consistente de la Biología en su conjunto y generar aprendizajes significativos entorno a ella. Algo a lo que aspira a contribuir este trabajo.

1.3. Análisis de un caso concreto: el Grado en Biología de la Universidad de Sevilla

A pesar de que a la hora de incluir un nuevo elemento en una programación didáctica u otorgarle más importancia, como en el caso de la E, lo ideal sería que en todos los grados en Biología (GB) se impartieran unos mismos contenidos, atendiendo a que «es en la normatividad donde la Didáctica encuentra su poder de transformación» [5], cada universidad elabora sus propios planes de estudio; por lo que no podemos realizar sugerencias ni correcciones sino atendiendo a casos concretos.

Acercándonos al caso de las universidades españolas, encontramos un estudio reciente [8] que compara la aceptación de la TE y el conocimiento sobre ella entre los/as alumnos/as de distintos grados. Entre los resultados más llamativos del artículo podemos resaltar el siguiente: a pesar de que el nivel de aceptación de la teoría sea alto en general (al igual que en otros países europeos), el nivel de conocimiento es bajo. Tras analizar los resultados de un *test* realizado por todos los sujetos encuestados, puede comprobarse que tan sólo los pertenecientes a algún GB «aprueban», mostrando una media ligeramente superior a la del resto: 5,4 puntos sobre 10. Estos datos nos sugieren -de nuevo- que es necesario reforzar la

presencia de contenidos sobre estas teorías en las aulas tanto de los centros de educación primaria y secundaria, como de las facultades de Biología.

Sin dejar de atender a dicho estudio [8], comprobamos que, de todas las universidades españolas analizadas, la Universidad de Sevilla (US) es la que menos créditos dedica en su GB a la impartición de contenidos relacionados con la E, lo que nos motiva a realizar un análisis más profundo de este caso concreto. Así pues, procedemos a revisar su plan de estudios, las competencias, objetivos y salidas profesionales y académicas de dicho GB, que podemos encontrar fácilmente en la página web oficial [9]. Rápidamente, nos damos cuenta de que no se incluye ninguna asignatura destinada únicamente a la E; aunque, según testimonios de algunos profesores, esta carencia ya ha sido tenida en cuenta y se prepara próximamente la introducción de una asignatura de cuarto curso llamada Genética Evolutiva. Sin embargo, si revisamos los programas de todas las asignaturas que sí se imparten actualmente, podemos comprobar que en seis de ellas (Genética I, Zoología I, Botánica II, Ecología I, Etología, y Avances en Botánica), dos de las cuales son optativas, se dedica un tema a la E; si bien el contenido en la mayoría de los casos se repite y no se amplía con respecto al que el estudiantado ya ha dado en bachillerato [9-11]. Continuando, si dejamos de lado el plan de estudios para analizar las competencias y objetivos que se espera que los/as alumnos/as adquieran tras su paso por el GB (véase el ANEXO I), hallamos lo siguiente (véase Tabla 1):

CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DEL PLAN DE ESTUDIOS DEL GB DE LA US
El grado cuenta con 10 competencias generales y 111 específicas, un total de 121 competencias, y 12 objetivos.
En ninguno de los objetivos del grado se menciona expresamente la posesión de conocimientos relacionados con la E.
Las 6 primeras competencias específicas hacen referencia a la adquisición y aplicación de conocimientos básicos o instrumentales de la física, la química, las matemáticas y la informática, pero ignoran la TE.
Contamos 5 competencias que mencionan la comprensión de procesos evolutivos concretos o la relación entre los seres vivos con su ambiente.
Tan sólo una competencia específica, la número 103, menciona expresamente la TE, y no exclusivamente: «Conocer las teorías sobre el origen y E de los seres vivos y los principales eventos de su historia evolutiva a escala geológica.»

Tabla 1. Conclusiones del análisis del plan de estudios del GB de la US. Tabla de elaboración propia [9].

Lo paradójico de esta situación es que, a pesar de que según los datos ofrecidos tan sólo un 5% (6 de 121) de las competencias que se adquieren durante el GB están relacionadas con la E o implican conocimientos referentes a ésta, tras un análisis un poco más detenido nos damos cuenta de que cerca de un 30% de estas competencias (36 de 121, resaltadas en negrita en el ANEXO I) pueden adquirirse con mayor facilidad si se poseen previamente

conocimientos sobre la E. Esto es debido a que dichas competencias implican temas como la conservación de especies, la diversidad biológica y su clasificación, la relación de los seres vivos con su entorno, las relaciones de los seres vivos entre sí o el análisis crítico de textos científicos y la emisión de juicios al respecto, aspectos cuya comprensión holística no es posible alcanzar ignorando los procesos y las fuerzas evolutivas.

1.4. Introducción a una propuesta concreta: una UD sobre la teoría de la evolución

Una **UD** se entiende como «una unidad de trabajo relativa a un proceso de enseñanza-aprendizaje, articulado y completo» [12]; es decir, no es más que un texto armonizado con una normativa superior que toma un objetivo didáctico general -o varios- impuesto por ésta y lo desglosa en una serie de objetivos más abordables, a la vez que proporciona una propuesta completa de cómo alcanzarlos [7].

En este caso, presentamos **una UD de carácter introductorio al concepto de la E, la historia de las TTE y las pruebas que las refuerzan**. Este trabajo constituye pues una propuesta para docentes de los primeros cursos de grados universitarios relacionados con las ciencias de la vida, que cuenten objetivos y competencias relacionados con la E. Gracias a esta generalidad de los contenidos, la UD también cuenta con cierto carácter interdisciplinar, ya que puede desarrollarse dentro de cualquier asignatura y sucederse con otras UDD relacionadas en otras asignaturas diferentes.

El perfil del alumnado al que está destinada será, por tanto, el de **estudiantes que hayan superado el bachillerato en la modalidad de ciencias**, que han cursado previamente la asignatura de «Biología» y que por ende ya saben, entre otros muchos aspectos de la biología: diferenciar distintas evidencias del proceso evolutivo, reconocer, diferenciar y distinguir los principios de la teoría darwinista y neodarwinista, relacionar genotipo y frecuencias génicas con la genética de poblaciones y su influencia en la E, reconocer la importancia de la mutación y la recombinación, analizar los factores que incrementan la biodiversidad y su influencia en el proceso de especiación [11].

Teniendo esto en cuenta, entre los objetivos de la UD se encuentran principalmente el autoevaluar, afianzar y profundizar en estos conocimientos, para lo que se proporcionan una serie de contenidos actualizados y contrastados sobre la TE y una serie de actividades sencillas, viables en cualquier aula actual, que desarrollar durante seis sesiones de una hora. Además, cuenta con un apartado dedicado a la evaluación del propio proceso de enseñanza-aprendizaje que puede ayudar a la mejora de la UD de cara a futuras ocasiones.

2. OBJETIVOS DIDÁCTICOS Y COMPETENCIAS BÁSICAS.

A menudo, se percibe que existe una tendencia a que la enseñanza gire en torno a los contenidos: «esta semana daremos el tema siete». Sin embargo, si nos paramos a reflexionar, lo verdaderamente importante no es la cantidad de conocimiento que se exponga en clase o que el estudiantado sea capaz de memorizar, sino las consecuencias que esto tenga en éste, el aprendizaje que se genere y las capacidades que adquiera en el proceso. En ese caso, cabría mejor decir: «esta semana aprenderemos a reconocer el tejido adiposo y sus características». De esta forma, estaremos formulando los **objetivos** de la enseñanza, es decir, respondiendo a la pregunta: «¿Para qué enseñar?» Dependiendo del nivel al que nos preguntemos esto (para qué enseñar un grado, una asignatura, un tema concreto...), los objetivos serán más o menos generales y, en consecuencia, menos o más fácilmente evaluables, respectivamente. Por ello, se hace necesario desglosar los objetivos generales de una asignatura o etapa en una serie de objetivos más específicos. Este proceso de concreción se lleva a cabo varias veces hasta llegar a los **objetivos didácticos** que son «referente inmediato en el proceso de evaluación». Además, como cabe esperar, todos los objetivos dentro de esta organización jerárquica deben estar correctamente armonizados para que la consecución de unos más concretos derive en la de otros más generales [7].

Respetando estas recomendaciones y continuando con el caso concreto del GB de la US, en esta UD vamos a tomar como referencia uno de los objetivos de dicho grado, el cual hemos mencionado anteriormente y que reza así: “**Conocer las teorías sobre el origen y E de los seres vivos y los principales eventos de su historia evolutiva a escala geológica**” [9]. Consideraremos que éste es nuestro objetivo general, por lo que procedemos a desglosarlo. En primer lugar, realizamos una separación en tres partes que parece evidente: (1) conocer las teorías sobre el origen de los seres vivos, (2) **conocer las TTE de los seres vivos** y (3) conocer los principales eventos de la historia evolutiva de la vida a escala geológica. La presente UD tan sólo se ocupará de la segunda parte, que constituye en sí un objetivo un tanto más concreto. Sin embargo, todavía este objetivo es difícilmente evaluable, por lo que lo deberemos dividir de nuevo, desglosándolo aún más. El resultado de esto son los objetivos primero, segundo, cuarto, quinto y sexto de la Tabla 2. Estos cinco puntos desarrollan con más detalle esa parte de nuestro objetivo general, abarcándola enteramente y prestándose con mayor facilidad a la evaluación. A pesar de esto, todavía no podemos considerarlos como los objetivos definitivos de nuestra UD.

En el aula existe una **gran diversidad de alumnos/as**, cada individuo presenta unas capacidades y unas motivaciones diferentes; por lo que, mientras algunos alcanzarán ciertos

objetivos con facilidad e interés, otros encontrarán muchas dificultades para lograrlo. Es por eso que, pretendiendo atender a esta diversidad, se insta a que toda programación didáctica sea también diversa, incluyendo objetivos y contenidos de los tres tipos en los que se suelen clasificar: conocimientos, procedimientos y actitudes. No obstante, cada UD se prestará más a un cierto tipo, por lo que es aconsejable en este punto tener en cuenta objetivos transversales que nos ayuden a hacerla lo más variada posible [7, 13].

En nuestro caso, la UD parece, por el momento, presentar objetivos relacionados únicamente con conocimientos; por lo que vamos a rescatar otra serie de objetivos generales, a partir del plan del grado, que hagan referencia a procedimientos y actitudes y que nos ayuden a hacerla más variada. Éstos se encuentran destacados en cursiva en el ANEXO I y consisten, en líneas generales, en el desarrollo de un espíritu cívico, científico y crítico y de una capacidad comunicadora. Para intentar contribuir a la consecución de estos objetivos generales que tienen un carácter más interdisciplinar que los anteriores, desde nuestro tema (la E), se añaden dos objetivos didácticos: el tercero y el séptimo (ver Tabla 2). Incluyendo estos dos fines, nuestra lista de las capacidades que esperamos que adquiera el alumnado ya estaría completa.

Con todo, a estas baterías de objetivos se les suele adjuntar una serie de lo que se denominan **competencias básicas**, buscando ilustrar aún mejor la dirección en la que se orienta una determinada actividad educativa. «Las competencias básicas son consideradas [...] como aprendizajes imprescindibles que el alumnado debe adquirir [...] Constituyen, no obstante, un ‘saber hacer’ complejo en el que se entremezclan conocimientos, habilidades, capacidades y actitudes, que se activan integrada y eficazmente en el alumno [o la alumna] para enfrentarse a nuevas situaciones o resolver tareas» [7]. Es decir que, si al formular los objetivos de la UD nos podemos imaginar que la frase que precede a su enunciado es: «Realizo esta UD didáctica para que los/as alumnos/as aprendan a...»; en el caso de las competencias, sería: «Como mínimo, tras realizar esta UD los/as alumnos/as serán capaces de...», seguido de una tarea compleja y concreta en la que se demuestre la integración de varias de las capacidades expresadas en los contenidos. Las competencias básicas correspondientes a nuestra UD se encuentran también en la Tabla 2.

Por último, cabe señalar que, con intención de atender a la mencionada diversidad que existe en el aula, se recomienda también **graduar los objetivos** dentro de la UD; o sea, ordenarlos según su prioridad de forma que la consecución de los primeros sea imprescindible y común a todo el alumnado, mientras que la de los últimos no, ya que se corresponden con las capacidades más complejas, de profundización [13]. Por este motivo, a continuación se

muestra la relación final de los objetivos didácticos y las competencias de esta unidad, ordenados según su prioridad, entorno a la cual deberá girar el resto de la UD: sus contenidos, sus actividades, su evaluación...

OBJETIVOS DIDÁCTICOS
(1) Conocer y comprender el concepto de E biológica y hacer uso de este conocimiento para analizar las distintas TTE de los seres vivos.
(2) Conocer y comprender las evidencias que fundamentan la idea de la E biológica y hacer uso de este conocimiento para justificarla.
(3) Valorar la diversidad, tanto a nivel biológico como humano, por su importancia evolutiva y fomentar su protección mediante el respeto, la igualdad y la no discriminación.
(4) Relacionar nombres relevantes de autores/as, tesis, argumentos, obras y movimientos filosófico-científicos con sus TTE correspondientes.
(5) Conocer la sucesión cronológica de las principales TTE de los seres vivos hasta la actualidad, ubicando cada una de ellas dentro de su contexto histórico y científico.
(6) Saber interpretar hechos y datos biológicos dados desde la óptica de las diferentes TTE de los seres vivos.
(7) Analizar y comentar de forma crítica y contrastada, oralmente o por escrito, textos científicos y no científicos que traten el tema de la E, demostrando un manejo adecuado de la terminología y los conceptos.
COMPETENCIAS BÁSICAS
(A) Leer y comprender el sentido general de un texto científico que verse sobre la E de los seres vivos, ubicarlo dentro de algunas de las principales TTE y comentarlo críticamente, de forma oral o escrita, empleando adecuadamente un vocabulario específico.
(B) Dar explicaciones evolutivas, acertadas en mayor o menor medida, a observaciones cotidianas o ejemplos biológicos sencillos, manifestando una actitud de respeto y protección hacia la diversidad.

Tabla 2. Objetivos didácticos, ordenados según su prioridad y competencias básicas de la UD.

3. CONTENIDOS

3.1. Contenidos didácticos

Los contenidos didácticos se definen como «el conjunto de saberes o formas culturales imprescindibles para generar en el alumnado el aprendizaje de hechos, conceptos, datos, principios, informaciones, procedimientos [...], destrezas y habilidades que permiten a los alumnos [y las alumnas] construir el conocimiento, y, también, el sistema de actitudes, valores y normas que regulan la vida en sociedad» [7]. Por ello, en este tercer apartado incluiremos toda la información con la que tendrá que estar familiarizado el alumnado tras la realización de la UD y que será necesaria para llevar a cabo las actividades y alcanzar los objetivos didácticos.

La preparación de estos contenidos es una tarea delicada, dado que aunque «el entendimiento de la Biología Evolutiva (BE) está conformado por un marco conceptual delimitado», que posibilita la transmisión de ideas y que ayuda a introducir al alumnado en el lenguaje científico; no podemos caer en limitar su enseñanza-aprendizaje a la memorización de conceptos. Debemos tan sólo «delimitarlos de manera tal que se puedan comunicar y diferenciar de sus acepciones cotidianas», para permitir a los/as alumnos/as «enraizar un marco conceptual a través del que puedan, por ellos mismos, participar de la ciencia que se les está enseñando» ¿Y cómo hacemos esto? Chevallard desarrolló la idea de la **transposición didáctica**, según la cual el conocimiento producido por los investigadores de una disciplina (saber sabio) debe transformarse para posibilitar su enseñanza-aprendizaje fuera del contexto donde se ha producido (saber enseñado). Así pues, la transposición didáctica se hace indispensable en este caso, ya que permite adecuar los saberes de la BE para su enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, hay que asegurarse de que el saber enseñado en el aula no se aleje en exceso del saber sabio o que parezca dogmático o terminado [14].

Por estos motivos, los textos didácticos deben estar bien estructurados y explicados con claridad, incluyendo las definiciones de los conceptos que se tratan, diferenciando los conocimientos consensuados por la comunidad científica de los controvertidos e invitando no sólo a la memorización, sino también a la crítica y a la reflexión. Los contenidos ofrecidos en este apartado son, por tanto, un intento de llevar a cabo este proceso, pretendiendo ser un ejemplo de material ya preparado para exponer o entregar a los discentes.

3.2. Concepto de evolución (biológica)

En el estudio más reciente del pensamiento científico, se hace una distinción entre las ciencias físicas y las ciencias de la vida: en Biología, los conceptos tienen mucha más importancia que las leyes; mientras que, aunque los conceptos también existen en las ciencias físicas, en ellas es más importante el descubrimiento de nuevos hechos. «Tal y como afirmaba Mayr, la gran mayoría de los avances recientes de las disciplinas biológicas complejas (como la BE) se deben al planteamiento de nuevos conceptos y es precisamente en ellos que suele basarse la elaboración de teorías» [14].

Nosotros hasta ahora hemos empleado el término «E» o hemos aludido a él indirectamente sin concretar su significado. No obstante, dada la importancia de los conceptos en las ciencias de la vida y, en particular, dada la delicada y controvertida naturaleza de este término, es necesario definirlo exhaustivamente y dar algunas directrices para lidiar mejor con él, para lo cual tendremos que recurrir a la lengua (véanse Cuadro 1 y Cuadro 2).

Etimología

La palabra «E» proviene del latín, *evolutio*: «acción de desenrollar», lo que implica exponer la total superficie de algo y, en un sentido figurado, revelar lo que está escondido o manifestar una potencialidad oculta. Actualmente, el significado se ha ampliado, abarcando no sólo las transformaciones en las que se pone de manifiesto la existencia previa de una potencialidad oculta, sino todos los cambios.

Cuadro 1. Etimología de la palabra «E» [15-17].

Acepciones

Al igual que la mayoría de las palabras, el vocablo «E» puede ser empleado con diferentes significados según el contexto, presentando varias acepciones que tienen en común la idea de cambio, transformación o desarrollo que viene dada por la etimología. Conviene saber en todo momento qué acepción del término se está utilizando para no caer en el error de utilizarlo o interpretarlo inadecuadamente. *Grosso modo*, existen dos acepciones:

- Una **común**: en la mayoría de los contextos, la E es sencillamente la acción y el efecto de cambiar. Puede ser dicho de un organismo, de una cosa o de una idea y el cambio puede ser de cualquier tipo: de estado, de forma, de actitud...
- Una **científica**: en determinados contextos, tanto en los propios de las ciencias de la vida (artículos y textos científicos especializados o de divulgación) como en cualesquiera otros en los que se nos da a entender que se hace uso de un saber científico proveniente de la biología, la E toma un significado mucho más complejo, técnico y preciso, que explicaremos más adelante.

Para hacer patente que se está haciendo uso de la segunda acepción, puede yuxtaponerse el adjetivo «biológica» al sustantivo «E», sin que esto varíe en nada su significado.

Cuadro 2. Acepciones de la palabra «E» [17].

Antes de pasar a la definición del término científico, cabe resaltar la necesidad de identificar bien el contexto, dado que, al usar la acepción científica, tendremos que restringirnos rigurosamente a su definición. Por ello, en caso de duda, evitar el término es una buena elección, sustituyéndolo -según convenga- por «cambio», «progreso», «desarrollo», «sucesión», «proceso», «transformación», «despliegue»...

Con todo, habrá casos en los que verdaderamente tengamos que utilizar la palabra E con su significado científico ¿Cuándo se darán estos casos? Pues siempre que una persona se plante frente a la asombrosa complejidad y diversidad de la vida en la Tierra y se pregunte su porqué, en un determinado sentido. Sea o no un/a biólogo/a, si esa persona busca la respuesta a dicha pregunta mediante el método científico, estará «haciendo biología». Según Futuyma [15], la Biología se basa en dos principios centrales: (1) «todos los procesos biológicos tienen una base física o química (*i.e.* material)» y (2) «todos los organismos y sus características son productos de la E». Por tanto, la pregunta «¿Por qué» ante un determinado organismo o fenómeno biológico puede tener dos tipos de respuestas desde la Biología: uno atiende al presente, a las **causas inmediatas**, a cuáles son las propiedades de la materia que producen cierto evento, a cómo interactúan las partículas dentro de un organismo para conferirle sus características...; y otro atiende al pasado, a las **causas históricas**, a cuáles son los eventos

pasados que han conducido a eventos presentes y la forma en que lo han hecho, a qué es lo que ha llevado a un organismo a poseer las características que observamos en él actualmente... Por ello, si lo que buscamos al plantearnos el dicho porqué son las causas históricas, dado que «todos los organismos y sus características son productos de la E», la respuesta será siempre la misma: la E; y, desembocando en una tautología, la E será entonces la causa histórica de todo organismo y sus características. No sin puntualizar que, hablamos de causas históricas a escala geológica; osea, de las causas dentro de la historia del planeta Tierra.

De esta manera, siempre que nos refiramos a aquel fenómeno biológico que origina la vida actual, con sus características, será correcto hablar de E biológica. Sin embargo, esta definición es muy general y nos puede parecer vacía de contenido. Precisamente, nos falta saber cuál es en concreto este fenómeno, en qué consiste la E. Si bien sabemos que Darwin no llegó a emplear el término en su *Origin of Species*, parece haber un consenso en que aludía a esta idea con la expresión «*descent with modification*» [18]. Soler [6], traduce esto como «dejar descendientes con modificación», lo que nosotros podemos interpretar como reproducirse (dejar descendientes) imperfectamente (con modificiación). La existencia de esta capacidad en los seres vivos, la de reproducirse de forma no completamente fidedigna, genera por lógica cambios entre progenitores y progenie, es decir, cambios a través de las generaciones, lo que enlaza con la idea de transformación común a todas las acepciones de la palabra E. En este punto entonces podemos deducir acertadamente que el fenómeno que genera la vida actual con sus características es la reproducción imperfecta de los seres vivos; sin embargo, el hecho de la reproducción implica una forma de vida preexistente que se reproduce, por lo que la E explicaría entonces la vida actual sólo a partir de la aparición de la primera forma de vida y no el origen de ésta.

Continuando, observamos que una definición dada anteriormente, «cambio a través de las generaciones», coincide con la que da Ridley [18]: «*change in the form or behaviour of organisms between generations*» (en español, «cambio en la forma o en el comportamiento de los organismos entre generaciones»); aunque él puntualice que el cambio puede ser tanto morfológico como etológico. No obstante, aún habiendo excluido ya la explicación del origen de la primera forma de vida del concepto de E, nos falta todavía mayor concreción ¿Cualquier cambio entre generaciones puede ser considerado E? A este último interrogante responde Futuyma [15] con su definición: «*change in the properties of populations of organisms, or groups of such populations, over the course of generations*» (en español, traducido por Soler [6], «cambio en las características de las poblaciones de organismos, o grupos de dichas

12

poblaciones, a través del curso de sucesivas generaciones»). De ahí que, para que se considere E, el cambio no se pueda producir únicamente en un individuo, sino -como mínimo- en el conjunto de la población en la que está incluido.

Esta definición todavía nos puede parecer poco concreta y nos podríamos preguntar «¿Cualquier cambio que se produzca en una población a través del curso de las sucesivas generaciones puede ser considerado E?» y, más tarde, seguir planteándonos interrogantes del tipo hasta llegar a un concepto muy concreto, preciso y delimitado. Sin embargo, y aunque ha habido evolucionistas que ya han dado definiciones mucho más concretas, por el momento no existe un consenso claro que determine qué tipo de cambios producidos en una población a través del curso de las sucesivas generaciones son E y cuáles no; por lo que, por el momento, a la última pregunta enunciada responderíamos sencillamente «sí», quedando a la espera de mayores avances científicos que nos ayuden a elaborar otra respuesta. Esto nos deja una batería de definiciones, progresivamente más restrictivas, de la realidad que se designa con la palabra «E», que resumimos esquemáticamente a continuación (véase Cuadro 3). Todas son válidas, siempre que utilicemos la acepción científica del término.

Definición

<i>SENSU LATISSIMO</i> →	Fenómeno biológico que origina la vida actual y sus características.
<i>SENSU LATO</i> →	Reproducción imperfecta, dejar descendientes con modificación.
<i>SENSU STRICTO</i> →	Cambio en las características de los organismos a través de las generaciones.
<i>SENSU STRICTISSIMO</i> →	Cambio en las características de las poblaciones de organismos a través del curso de sucesivas generaciones

Cuadro 3. Definición de la acepción científica de la palabra «E» [6, 15, 18].

Finalmente, ahora que queda definida la E como sustantivo, cabe señalar que podemos hacer extensiva esta definición a toda su familia léxica: evolutivo/a, evolucionar, evolutivamente, evolucionismo, evolucionista, etc., adaptándola en cada caso según proceda.

Como conclusión, debemos destacar que, si bien podemos encontrar múltiples definiciones diferentes de E, éste no ha sido nunca un tema controvertido. Lo que verdaderamente ha generado debate en la comunidad científica han sido los mecanismos de la E (e.g.: la selección natural): ¿qué cambios son los que se producen, por qué se producen, cómo, cuándo...? Temas en torno a los cuales gira la BE, disciplina que estudia la E biológica.

3.3. ¿Por qué «teoría de la evolución»?

En muchos textos científicos que tratan sobre la E o sobre la historia del pensamiento, podemos leer con bastante frecuencia el sintagma «TE», lo que puede generar ciertas dudas

¿Acaso la E no está probada actualmente? A la luz de un vasto trabajo científico, tanto teórico como experimental y observacional, realizado a lo largo de cerca de tres siglos, constatamos que **la E biológica es un hecho científico**. Es más, a mediados del siglo XIX, época en la que empezaron a estudiarse los mecanismos evolutivos, ya existía en los círculos profesionales de la biología cierto consenso sobre su existencia y, desde hace más de un siglo, ningún científico ni ninguna científica investiga en busca de pruebas para demostrarla. Sencillamente, ese ya no es un punto a debatir o que presente controversia alguna [15, 18].

Entonces, ¿por qué hablamos de «teoría»? Como en otros casos, la confusión viene dada por escoger incorrectamente una de las acepciones del término para interpretarlo. Cuando escribimos «TE» no nos referimos a un «conocimiento especulativo considerado con independencia de toda aplicación», sino a un **conjunto de «hipótesis cuyas consecuencias se aplican a toda una ciencia o a parte muy importante de ella»**, en este caso la Biología [14, 17]. Es decir, con «E», nos referimos únicamente al hecho probado científicamente mientras que, con «TE», al conjunto de hipótesis, modelos, etc. englobadas en torno a la E, algunas de las cuales están más probadas que otras o son consideradas más canónicas que otras.

Otro aspecto que es pertinente señalar antes de terminar este texto aclaratorio es el relativo a la ortografía, en concreto a las mayúsculas iniciales. Según la Real Academia Española [19], sólo los nombres propios, o los que funcionen como tal en una frase, llevan mayúscula inicial. Esto incluye: los títulos de obras, movimientos culturales, filosóficos o sociales y los nombres de asignaturas o disciplinas, dentro de un contexto académico; pero no los nombres de teorías científicas. Por tanto, escribiremos con mayúscula inicial «Evolucionismo», «*El origen de las especies*» o «Biología Evolutiva», pero en minúscula «evolución» o «teoría de la evolución».

3.4. Historia de las teorías evolutivas

Como en otras muchas disciplinas científicas, entender la forma en la que se ha construido el saber actual en la BE resulta indispensable para poder comprenderlo de forma holística e interpretar críticamente textos actuales; y más en una disciplina como ésta, cuyo recorrido, incluso antes de haberse fundado, está lleno de controversia y de dialéctica. Por esta razón, entre otras muchas, lo ideal al estudiar la historia de las TTE sería poder contar con un análisis que situara cada teoría en su contexto político, cultural y social, pudiendo así conocer las restricciones que dicho contexto ha impuesto a la investigación científica; sin embargo, dada la larga tradición de la disciplina (más de dos siglos) la simple enunciación de las sucesivas teorías ya constituye una tarea suficientemente extensa que puede resultar

abrumadora si se amplía aún más. Con todo, antes de empezar, apuntaremos a modo de ejemplo una de las restricciones históricas que ha sufrido la BE.

Cualquiera tras leer el texto podrá darse cuenta de que el perfil de las personas que han contribuido a la explicación de la E es bastante uniforme, puesto que en su mayoría son hombres naturales de países anglosajones. Los motivos históricos para que este sea el perfil del autor canónico en las TTE son múltiples y los perjuicios que este hecho ha podido causar a la disciplina, también; dado que, tal y como la propia BE nos enseña, la variabilidad aumenta la probabilidad de encontrar soluciones favorables a problemas dados. Dicho esto, ya estamos en disposición de empezar a tratar el tema que nos atañe.

Si bien hablar de «TTE» con anterioridad a la primera mitad del s.XIX constituye un error, puesto que el propio término de E no aparece hasta esa fecha; debemos tener en cuenta que la E en sentido amplio, es decir, el fenómeno que origina la vida actual y sus características, es algo sobre lo que la humanidad siempre se ha interrogado. Es más, ya en la Edad Antigua encontramos todos los tipos de respuestas posibles para este interrogante, y que reflejamos en la Tabla 3.

TIPO	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
Mitológicas	Cosmogonías, mitos y leyendas que explican la aparición de los seres vivos y de sus características como resultado de la actividad divina.	La mitología griega
Esencialistas	Razonamientos basados en la perfecta armonía de la naturaleza, los seres vivos son representaciones imperfectas de las ideas perfectas de las especies, que son inmutables.	Platón
Ortogenésicas (<i>Scala Naturae</i>)	Explicaciones que defienden la idea de la generación espontánea de los seres vivos, que poseen una potencialidad inmanente que les conduce a progresar a través de las generaciones en una escala predefinida, lineal, plena, deviniendo de formas simples a complejas.	Aristóteles
Ateleológicas	Concepciones no finalistas de la vida, puramente mecanicistas, la vida se rige por una serie de leyes que la modifican y conducen indefinidamente sin un rumbo preestablecido.	Aristóteles y algunos filósofos presocráticos

Tabla 3. Tipos de TTE, explicadas e ilustradas con ejemplos de la Edad Antigua. Tabla de elaboración propia [6, 15, 18, 20, 21].

Los dos primeros tipos, a pesar de ser explicaciones para la E en un sentido amplio, rechazan la idea misma de la E en un sentido más riguroso, puesto que proponen la inmutabilidad de las especies; sin embargo, los dos últimos tipos sí defienden la transformación de las especies en el tiempo. Cabe señalar que, según la época en la que nos situemos, encontraremos que predomina un tipo de teorías u otras. Por ejemplo, en la etapa que sigue, durante toda la Edad Media, el dogma de la Iglesia Católica impuso una única explicación, mixta entre mitológica y esencialista: Dios, un creador inteligente, diseñó con detalle todas las especies, que constituyen entes perfectos e inmutables en armonía constante. Esta concepción se mantendría en el tiempo hasta inicios del s.XIX, pasando por la Ilustración

donde, aunque se avanzó en las ciencias físicas y en las naturales (*e.g.*: las leyes de Newton y de Pascal, el principio de superposición estratigráfica y el hallazgo de fósiles de animales extintos...) no se propusieron nuevas hipótesis evolutivas. No obstante, apareció una idea que, aunque teísta, ayudaría posteriormente a transitar desde el dogma católico hacia teorías ateleológicas: el mecanicismo. Todo se puede explicar mediante el funcionamiento de mecanismos y Dios es únicamente un creador (causa primaria) que deja el mundo a merced de una serie de leyes universales (causa secundaria). A lo que la idea de uniformitarismo o actualismo de Hutton (1726-1797) añade que esas mismas leyes que están actuando ahora, lo han hecho siempre. Además, en esta época también se realizaron dos aportaciones más que reseñables para el posterior entendimiento de la diversidad biológica: el *Systema Naturae* de Linneo (1707-1778), en el que proponía un sistema jerárquico de clasificación de todas las especies; y, la *Histoire Naturelle* de Buffon (1707-1788), en la que determina el concepto tipológico de especie y enuncia la ley de Buffon («ambientes similares, pero separados tienen especies diferentes»), fundando la biogeografía [6, 15].

Llegados ya a principios del s.XIX, podemos decir con ciertas reservas que comienza verdaderamente la historia de las TTE, que continua hasta nuestros días, puesto que aparecen ya trabajos científicos en los que se defiende la transformación de las especies. Para su mejor comprensión, hemos dividido -de una forma muy grosera- este periodo en seis etapas, en base a las características que marcaron cada una de ellas (véase Tabla 4).

ETAPA	DESCRIPCIÓN
Predarwinista (1800-1850)	Conflicto entre la defensa de la inmutabilidad de las especies y dogma católico (Creacionismo, Fijismo, Catastrofismo, ideas mitológicas y esencialistas) y la idea de la mutabilidad de las especies (Transformismo o Lamarquismo, generalmente teorías ortogenéticas).
Darwinista (1850-1890)	Debate acerca de las ideas de Darwin, además de la búsqueda de mecanismos y observaciones con los que explicar la E y la mutabilidad de las especies. Aparecen multitud de TTE (principalmente ortogenéticas), entre las cuales, Darwin presenta la primera de carácter ateleológico, que genera múltiples críticas, pero también inspira multitud de otros trabajos.
Postdarwinista 1890-1930)	Afloración de nuevas teorías ortogenéticas, junto con otras ateleológicas que continúan la línea de Darwin (Darwinismo) o la modifican (Mutacionismo y Saltacionismo).
Sintética (1930-1950)	Elaboración de una teoría sintética evolutiva (Neodarwinismo) como medio para cribar y unificar las teorías ateleológicas hasta el momento, combinarlas con el conocimiento generado en el campo de la genética y eliminar las teorías ortogenéticas.
Postsintética (1950-2000)	Gran avance de la BE, aparición de estudios que refuerzan la síntesis evolutiva o que postulan mecanismos alternativos (Saltacionismo y Neutralismo), pero siempre ateleológicos.
Actualidad (2000-2021)	Debate en torno a si es necesaria o no la elaboración de una síntesis evolutiva extendida que incluya los avances realizados en la disciplina desde la elaboración de la anterior síntesis evolutiva.

Tabla 4. Etapas de la historia de las teorías evolutivas a partir de 1800. Las fechas especificadas son orientativas. Tabla de elaboración propia [6, 15, 18, 20].

Este breve esquema nos permite ver cómo las teorías científicas ateleológicas finalmente desplazan a las mitológicas, esencialistas u ortogenésicas y cómo han ido sucediéndose las ideas en el campo. Sin embargo, en palabras del evolucionista Futuyma [15]: «la historia de la BE es la de un desarrollo generalmente gradual, no uno de repentinos cambios de paradigma, el cual se construye sucesivamente, sobre los logros anteriores». Por ello, para conocer los «logros anteriores» con mayor detalle y así poder entender o aportar al desarrollo de este área de la Biología, disponemos a continuación de la Tabla 5 con las contribuciones más relevantes de los/as científicos/as a la TE durante dichas seis etapas.

ETAPA	AUTOR	OBRA	CONTRIBUCIÓN
PREDARWINISTA	WILLIAM PALEY (1743-1805)	<i>Natural Theology</i> (1802)	Creacionismo → la perfección y complejidad de los seres vivos y sus adaptaciones implica directamente la acción de un Dios creador.
	JEAN-BAPTISTE LAMARCK (1744-1829)	<i>Philosophie zoologique</i> (1809)	Transformismo → unas especies descienden de otras mediante cambio gradual, de forma que la diversidad biológica es el resultado de una ley, no de la actuación divina.
			Ley del uso y desuso → el uso diferencial de los órganos está influenciado por el ambiente, los órganos más utilizados atraen más «fluido vital», en detrimento de los menos usados.
			Herencia de los caracteres adquiridos → el desarrollo diferencial de los órganos dependiente del ambiente se fija en las especies puesto que las características adquiridas por un individuo durante su vida se transmiten a su descendencia.
	GEORGES CUVIER (1769-1834)		Defensa de la <i>Scala Naturae</i> → los seres vivos aparecen continuamente mediante generación espontánea y progresan unidireccionalmente en una escala predefinida (diferente para animales y plantas), por lo que no ha ocurrido ninguna extinción verdadera y los fósiles son sólo restos de los precursores de las especies actuales [22].
Omni vivum ex ovo → todo ser vivo proviene de un ser vivo preexistente, refutación de la generación espontánea.			
Fijismo → rechazo del Transformismo y defensa del Esencialismo, tanto las especies actuales como las fósiles son tan complejas que cualquier cambio imposibilita su funcionalidad, por lo que no pueden modificarse en el tiempo, se han mantenido constantes desde su aparición hasta su extinción.			
THOMAS MALTHUS (1766-1834)	<i>An Essay On The Principle of Population</i> (1798)	Catastrofismo → la historia geológica de la Tierra está marcada por una serie de catástrofes naturales que provocaron grandes extinciones y cambios faunísticos.	
DARWINISTA	CHARLES DARWIN (1809-1882)	<i>The Origin Of Species By Means Of Natural Selection</i> (1859)	Supervivencia del más apto → los seres vivos poseen una potencialidad reproductora infinita, sin embargo, los recursos son limitados, lo que conduce a una competencia por los mismos y a la supervivencia del que los sepa aprovechar mejor.
			Gradualismo → los cambios en las especies se producen de forma gradual, desconocemos las formas intermedias entre unas especies y otras porque el registro fósil está incompleto → <i>Natura non facit saltum</i> .
			Ascendencia común → rechazo a la <i>Scala Naturae</i> , todos los seres vivos compartimos un ancestro, explicación para la jerarquía linneana y rechazo del creacionismo y de la generación espontánea.

			<p>Concepto poblacional de especie (no tipológico) e individualismo → una población está compuesta por individuos de la misma especie diferentes entre sí y aislados reproductivamente de otras poblaciones.</p> <p>Selección natural → el principal motor de la E consiste en la reproducción diferencial de los individuos dentro de una población: (1) los individuos que forman las especies son variables, (2) algunas de estas variaciones pasan a los descendientes, (3) en cada generación se producen más descendientes de los que pueden sobrevivir, (4) la supervivencia y reproducción de los individuos no son al azar: los individuos que sobreviven y llegan a reproducirse, o la mayoría de los que se reproducen, son aquellos que presentan las variaciones más favorables. Son seleccionados de manera natural.</p>
POSTDARWINISTA	ERNEST HAECKEL (1834-1919)		<p>Teoría de la recapitulación → «la ontogenia recapitula la filogenia».</p> <p>Diseño del primer árbol de la vida.</p>
	AUGUST WEISMANN (1834-1914)		Refutación de la herencia de los caracteres adquiridos → diferenciación de las líneas celulares germinales y somáticas [23].
	HUGO DE VRIES (1848-1935)		Mutación → descubrimiento y descripción, «errores» azarosos en la replicación del material genético.
			Redescubrimiento y defensa de las leyes de Mendel para la herencia.
			Mutacionismo → defensa de la mutación como el principal mecanismo evolutivo.
	JAMES MARCK BALDWIN (1861-1934)		Diferenciación de la herencia cultural (no genética) y la biológica (genética) , importancia del comportamiento de la plasticidad fenotípica para la supervivencia.
RICHARD GOLDSCHMIDT (1878-1958)	<i>The Material Basis of Evolution</i> (1940)	Saltacionismo → las especies evolucionan mediante cambios repentinos y drásticos que reorganizan el genoma al completo, macromutaciones.	
SINTÉTICA	JULIAN HUXLEY (1887-1975)	<i>Evolution: The Modern Synthesis</i> (1942)	Creación del término de síntesis moderna o síntesis evolutiva , usa los principios de la genética para explicar los patrones de la E descritos por paleontólogos y sistemáticos, uniendo las ideas de Fisher, Haldane, Wright para la aplicación a los grandes interrogantes de la E.
	RONALD FISHER (1890-1962)	<i>The Genetical Theory of Natural Selection</i> (1930)	Genética cuantitativa → estudio de la herencia teniendo en cuenta la epistasia, la variación continua de los caracteres, influenciada por el ambiente, que debe ser estudiada estadísticamente a nivel de población.
			Defensa de la síntesis evolutiva y reconciliación de mutacionismo y darwinismo, la E es la suma de la selección natural y las mutaciones.
	JOHN HALDANE (1892-1964)	<i>The Causes of Evolution</i> (1932)	Genética de poblaciones → bases matemáticas para explicar la E mediante el estudio de las variaciones de las frecuencias alélicas en una población a través de las generaciones.
			Defensa de la síntesis evolutiva, aportación de una teoría matemática sobre la selección natural y artificial.
	SEWALL WRIGHT (1889-1988)	<i>Evolution and the Genetics of Populations</i> (1968)	Deriva genética → importancia de los eventos azarosos en la E.
THEODOSIUS DOBZHANSKY (1900-1975)	<i>Genetics and the Origin of Species</i>	Macroevolución → fenómenos evolutivos que afectan a especies y taxones de nivel superior y que, por su escala temporal, se estudian a través de los fósiles (por oposición, microevolución).	

		(1937)	Concepto biológico de especie → estadio de divergencia evolutiva en el cual la divergencia de formas en algún momento real o potencial llega a segregarse en dos o más grupos que son fisiológicamente incapaces de entrecruzarse.
	GEORGE SIMPSON (1902-1984)	<i>Tempo and Mode in Evolution</i> (1944)	Defensa de la síntesis evolutiva y rechazo del neolamarquismo y de la ortogénesis, se apoya en la genética de poblaciones para mostrar que los datos paleontológicos son consistentes con la síntesis evolutiva. Concepto evolutivo de especie → linaje que evoluciona separadamente de otros y con su propio papel y tendencias en la E.
	ERNST MAYR (1904-2005)	<i>Systematics and the Origin of Species</i> (1942)	Fusión del conocimiento genético con el taxonómico en la síntesis evolutiva para refutar el saltacionismo de Goldschmidt. Concepto biológico de especie → grupos de poblaciones actual o potencialmente reproductoras que están reproductivamente aisladas de otros grupos similares.
POSTSINTÉTICA	MOTOO KIMURA (1924-1994)	<i>The Neutral Theory of Molecular Evolution</i> (1983)	Neutralismo y Teoría neutralista de la E Molecular → la mayor parte de variación genética de las poblaciones no es ventajosa ni deletérea [24, 25].
	RICHARD LEWONTIN (1929)		Construcción del nicho → las modificaciones que realizan los animales en su medio modifican su eficacia biológica y pueden ser heredadas por sus descendientes.
	PAUL EHRLICH (1932)		Coevolución → E conjunta de dos o más especies interactuantes, cada una de las cuales evoluciona en respuesta a la selección impuesta por la(s) otra(s).
	PETER RAVEN (1936)		
	LEIGH VAN VALEN (1935-2010)		Hipótesis de la Reina Roja → la probabilidad de sobrevivir de los organismos no mejora con el paso del tiempo pero deben evolucionar constantemente para mantenerla.
			Carrera armamentística → tipo de coevolución que se da en los sistemas depredador-presa.
WILLIAM HAMILTON (1936-2000)		Eficacia inclusiva y selección familiar o de parentesco → bajo ciertas condiciones, conductas altruistas pueden fijarse evolutivamente, si se tiene en cuenta no sólo la eficacia biológica de los individuos, sino también la de sus parientes.	
	LYNN MARGULIS (1938-2011)	<i>Origin of Eukaryotic Cells</i> (1970)	Teoría de la Endosimbiosis → origen de la célula eucariota, los cloroplastos, las mitocondrias y los flagelos provienen de bacterias simbiotes en unión con una célula eucariota primitiva, importancia de la cooperación por encima de la competencia [26].
ACTUALIDAD	STEVEN ROSE (1938)		Crítica a la síntesis evolutiva → «definir la E como cambio en las frecuencias alélicas es demasiado reduccionista, priva a los organismos de tomar parte alguna en el su propio destino».
	MARION LAMB (1939)	<i>Evolution in Four Dimensions</i> (2005)	Refutación de la teoría del gen egoísta y de la síntesis evolutiva y rescate de las ideas lamarquistas a través de la epigenética [23, 27].
	EVA JABLONKA (1952)		

STEPHEN JAY GOULD (1941-2002)	<i>La estructura de la TE</i> (2002)[28]	Teoría del equilibrio puntuado → la mayoría de los linajes, tal y como muestran los fósiles, muestran cambios rápidos (puntuaciones) entre largos periodos de estabilidad de fenotipos virtualmente constantes.
		Exaptaciones → caracteres que ahora contribuyen a aumentar la eficacia biológica de un individuo, pero que no han sido seleccionados por la selección natural para su función actual [29].
		Selección de especies o de grupo → las poblaciones o las especies protagonizan la E, compitiendo entre ellas, no son los individuos entre sí los que compiten.
		Constricciones del desarrollo → muchas partes de un organismo son subproductos del desarrollo sin un propósito inicial, aunque posteriormente puedan adquirir funciones como consecuencia de la selección.
MARY WEST-EBERHARD (1941)		Acomodación genética → la plasticidad fenotípica puede ser asimilada por el genotipo, los genes son seguidores, no necesariamente líderes de la E fenotípica.
RICHARD DAWKINS (1941)	<i>El gen egoísta</i> (1976)	Teoría del gen egoísta → la unidad de selección no es organismo, éste es una mero transportador de genes, que son las unidades evolutivas.
		Adaptacionismo → todas las características de un organismo pueden ser entendidas como adaptaciones.
KEVIN LALAND (1962)		Proposición de la síntesis evolutiva extendida , que incluya la construcción del nicho, la herencia inclusiva (herencia genética y no genética) y los mecanismos de asimilación de la plasticidad fenotípica, además de otorgar mayor importancia a la Biología del Desarrollo [30-33].
TOBIAS ULLER		
MASSIMO PIGLIUCCI (1964)	<i>Evolution: the extended synthesis</i> (2010)	

Tabla 5. Historia de las principales teorías evolutivas a partir de 1800. Tabla de elaboración propia [6, 15, 18, 20].

Una vez vista la tabla anterior y leída esta revisión sobre las teorías evolutivas, podemos decir que se observa, por analogía con la historia de otros campos del saber, un movimiento pendular entre la dogmatización o canonización de las explicaciones evolutivas y la diversificación de éstas. De esta forma, frente a la variedad de teorías propuestas en la Edad Antigua, en la Edad Media el dogma de la Iglesia Católica impone una explicación única. Ésta se mantiene hasta que a principios del s.XIX afloran explicaciones alternativas, de nuevo variadas, que desembocan en la teoría de Darwin. En poco tiempo, los postulados darwinistas vuelven a desencadenar la aparición de teorías más diversas; las cuales se terminan por cribar y unificar con la elaboración de la síntesis evolutiva a principios del s.XX, que da -a su vez- pie a otra serie de décadas en las que se estudian mecanismos alternativos, llegando a la actualidad. Y, actualmente, nos encontramos precisamente en ese punto de inflexión en el que la creación de teorías que no se encuentran reconocidas en el anterior dogma parece solicitar de nuevo la revisión y normativización en una síntesis evolutiva extendida.

3.5. La evolución en España

Observando la historia convencional de la BE apreciamos que, desde sus orígenes hasta la actualidad, carece de figuras significativas de nacionalidad española ¿A qué puede deberse esto? Los motivos son diversos y, entre ellos, se encuentra sin duda el contexto histórico. Sin embargo, no por ello debemos menospreciar la labor de los/as científicos/as que, si bien no han realizado aportaciones que hayan llegado al primer plano de la disciplina, han ayudado -pese a las muchas dificultades- a la difusión de sus conocimientos y a su aplicación y enseñanza en nuestro país.

Comenzando por los primeros pasos de las TTE, a principios del s.XIX, varios países europeos, que disponían de un contexto mucho más favorable para el desarrollo de una cultura científica, contaban ya con grandes naturalistas que se interesaban o se habían interesado por el tema de la E: Francia contaba con las figuras de Lamarck (1744-1829) y Cuvier (1769-1832), Inglaterra con Darwin (1809-1882) y Lyell (1797-1875), Alemania con Goethe (1749-1802), etc. España, sin embargo, se encontraba inmersa en un régimen conservador de confesionalidad católica, el reinado de Isabel II, que evitaba activamente la entrada al país de ideas contrarias al dogma de la Iglesia. Un dato ilustrativo: la primera traducción completa del *Origin of Species* de Darwin (1859) tardó cerca de veinte años en llegar a España (1877). A pesar del panorama poco propicio, muchos consiguieron entrar en contacto con las ideas foráneas por medio de viajes o de compra de libros de estraperlo, y posteriormente defendieron la mutabilidad de las especies dentro de nuestras fronteras (véase Tabla 6) [34].

CIENTÍFICO	DETALLE BIOGRÁFICO
Félix de Azara (1746-1821)	Naturalista y geógrafo español que llevó a cabo importantes estudios sobre geografía e historia natural del Río de la Plata y Paraguay. Félix logró publicar varias obras recopilatorias como <i>Apuntamientos para la historia natural de los pájaros del Paraguay y del Rio de la Plata</i> , trabajos inmediatamente reconocidos y traducidos, que incluían reflexiones cercanas a la idea de la E biológica que inspiraron a contemporáneos como Charles Darwin, que lo cita varias veces en <i>El origen de las especies</i> . Sin embargo, al no ceñirse a la nomenclatura binominal linneana, sus aportaciones pronto cayeron en el olvido.
Antonio Machado y Núñez (1815-1896)	Abuelo de los célebres poetas, catedrático de Historia Natural en la Universidad de Sevilla, inauguró el Gabinete de Historia Natural de Sevilla y defendió las tesis de Darwin, Lyell y Haeckel en sus clases. Fundó la <i>Revista mensual de filosofía, literatura y ciencias de Sevilla</i> , donde se publicaron múltiples artículos explicando las teorías darwinistas. Perdió la cátedra tras la vuelta de la monarquía de Alfonso XII.
Gregorio Chil y Naranjo (1831-1901)	Publicó el primer libro naturalista en español en el que se incluían ideas evolutivas: <i>Estudios históricos, climatológicos y patológicos de las Islas Canarias</i> (1876), lo que, junto a la defensa de las teorías darwinistas, le costó la excomunión. También realizó múltiples viajes, trayendo ideas revolucionarias y acumulando material geológico que empleó para la fundación del <i>Museo canario de arqueología, etnografía y antropología</i> .
Augusto González Linares	Catedrático de Ampliación de Historia Natural de la Universidad de Santiago. Defendió públicamente las ideas darwinistas, perdiendo su cátedra junto con otros profesores en consecuencia, y libre

(1845-1904)	enseñanza. Fue secretario de la Institución Libre de Enseñanza.
Enrique Godínez (1845-1894)	Realizó la primera traducción completa en el año 1877 del <i>Origen de las Especies</i> con el beneplácito del propio Darwin mediante correspondencia.
Odón de Buen y Cos (1863-1945)	Discípulo de Linares, catedrático de Historia Natural de la Universidad de Barcelona, daba conferencias extralaborales en domingo defendiendo el darwinismo en la Escuela Moderna de Ferrer i Guarda, junto con Martínez Vargas. Introdujo el Darwinismo en los libros de texto y programas de sus asignaturas. La Sagrada Congregación del Índice condenó sus libros (<i>Tratado elemental de Zoología</i> y <i>Tratado elemental de Geología</i>) por ideas favorables al darwinismo.
Antonio de Zuleta (1885-1971)	Considerado el autor de la mejor traducción al castellano del <i>Origen de las Especies</i> , dedicó un género de copépodos parásitos (<i>Linaresia</i>) a González Linares por su defensa del darwinismo.

Tabla 6. Principales figuras responsables de la introducción de las TTE durante el s.XIX. Tabla de elaboración propia [20, 34-36].

Tras el reinado de Isabel II (1868) se sucedieron periodos de convulsión política, alternancia de gobiernos liberales y conservadores, dictaduras y repúblicas, donde el estudio de las ideas evolutivas avanzó interrumpidamente hasta llegar a la dictadura franquista (1939) donde de nuevo se prohibieron y persiguieron las tesis evolucionistas durante casi todo el régimen, tan sólo al final del mismo se permitió a algunas editoriales publicar traducciones de los libros de Darwin [37]. Durante los años que siguen hasta la actualidad (1975-2021), asistimos a una mejora notable y una apertura en la que aparecen científicos/as muy distinguidos en todas las áreas. España incorpora los avances generados por la comunidad científica y permanece atenta al debate evolutivo, liderado por las naciones anglosajonas. En este periodo, contamos de nuevo con una serie de figuras relevantes (véase Tabla 7)[38].

CIENTÍFICO	DETALLE BIOGRÁFICO
Francisco José Ayala (1934)	<p>Especialista en BE, autor de más de un millar de trabajos científicos, considerado uno de los científicos españoles más destacados de la actualidad. Ha desarrollado íntegramente su carrera académica en EEUU, en varias universidades.</p> <p>Su investigación se ha centrado en el reloj molecular de la E (secuencias de proteínas para la reconstrucción de la historia evolutiva). Su grupo de investigación ha estudiado también el origen y E de los intrones, los pseudogenes o la expresión ectópica, entre otras cuestiones. Ayala ha investigado también el origen de la malaria y otras enfermedades parasitarias como la leishmaniosis, la enfermedad de Chagas o la enfermedad del sueño.</p> <p>Otra especialidad destacada de Ayala, que fue ordenado sacerdote y colgó los hábitos poco después, es la filosofía de la biología, la bioética, la relación entre la ciencia y la religión y la enseñanza de la teoría evolutiva en las escuelas.</p>
Juan Luis Arsuaga (1954)	<p>Director del Museo de la E humana (Burgos). Divulgador científico de las teorías evolutivas y paleoantropólogo. Doctor en Ciencias Biológicas y catedrático de Paleontología por la Universidad Complutense de Madrid. También dirige el Centro UCM-ISCI III de E y Comportamiento Humanos. Co-dirige en las excavaciones en la Sierra de Atapuerca (Burgos). Forma parte de la National Academy of Sciences de los Estados Unidos, de la Real Academia de Doctores de España, del Museo del Hombre de París, y de la Asociación Internacional para el Estudio de la Paleontología Humana. Es también escritor de ensayos y libros de divulgación científica, como <i>La especie elegida</i>, <i>El collar del neandertal</i>, <i>El enigma de la esfinge</i>, <i>Los aborígenes</i> y <i>La saga humana</i>.</p>

Pere Alberch (1954-1998)	Gran figura dentro de la Biología del Desarrollo. Profesor de la Universidad de Harvard. Director del Museo Nacional de Ciencias Naturales. Crítico de la síntesis evolutiva, relacionado con Stephen Jay Gould. Autor de estudios muy novedosos sobre la implicación de la Biología del Desarrollo en la E, defendiendo que las trayectorias ontogenéticas varían evolutivamente debido a la heterocronía, demostrando una concepción no reduccionista de la biología, sino sistémica.
Manuel Soler (1955)	Catedrático de Zoología en la Universidad de Granada, presidente de la Sociedad Española de BE entre 2003 y 2009, incluido en la lista del top 2% de los investigadores más influyentes del mundo. Editor del libro <i>E: la base de la Biología</i> , una síntesis actualizada de las teorías evolutivas escrita al completo en castellano por autores españoles. Sus principales líneas de investigación discurren por la Ecología del Comportamiento.

Tabla 7. Evolucionistas españoles más relevantes desde el s.XX. Tabla de elaboración propia [38-42].

Llegados a la actualidad, conviene entonces comentar los retos que presenta el panorama actual de la BE en nuestro país para así orientar la labor de los/as futuros/as investigadores/as de esta disciplina. Las críticas que se recibe son dos. En primer lugar, una particular, relativa a la poca representación de la E en la enseñanza superior de las ciencias de la vida, dado que son pocas las universidades que incluyen asignaturas dedicadas a la BE y esto se refleja en un conocimiento básico o escaso de las TTE entre el estudiantado. Y, en segundo lugar, una general a toda la ciencia, en palabras de Ayala: «España invierte ahora [...] en ciencia y tecnología, un 1% del PIB; EEUU invierte un 3% y tiene una economía mucho mayor. Y la ciencia aporta invención, descubrimientos, educa al público... Todo eso rinde económicamente. España está produciendo muy buenos científicos pero, desdichadamente [...] muchos de ellos emigran porque no encuentran puestos aquí [...]. España paga toda la educación de científicos que, cuando empiezan a rendir, benefician a otros» [8,38].

3.6. Pruebas a favor de la evolución

Al abrir cualquier libro actual de Biología, podremos comprobar que la E recibe el tratamiento de hecho probado científicamente; sin embargo, tras estudiar la historia de las TTE nos daremos cuenta también de no siempre fue así y de que, durante un cierto periodo de tiempo, los esfuerzos de los naturalistas se concentraron en buscar pruebas que dieran crédito al cambio de las especies a través de las generaciones, regido por leyes no teleológicas [15]. A pesar de que hoy en día este cuestionamiento ya no se da en la comunidad científica, conviene conocer las evidencias que en su momento se recogieron y sumarles otras más recientes para realizar cada uno/a nuestro propio «descubrimiento» de la E y lograr entenderla mejor. A continuación, en la Tabla 8, una síntesis de las principales evidencias a favor de la E.

PRUEBA	EXPLICACIÓN	EJEMPLO
Registro fósil	Casos documentados de variaciones graduales a lo largo de la la secuencia estratigráfica que muestran la sucesión de organismos en el tiempo e incluso los estadios intermedios de transición de una forma a otra (1)(2)	La familia <i>Equidae</i> o la diatomea <i>Rhizosolenia</i>
Círculo de razas	Cadena de razas o subespecies que se hibridan entre ellas sucesivamente	Las gaviotas sombría (<i>Larus</i>

	pero que, en el punto donde los extremos se solapan, la hibridación no es posible y se interpretan como especies separadas (1)(2)	<i>fuscus</i>) y argétea (<i>L. argentatus</i>) alrededor del Polo Norte
Islas volcánicas	Mayor biodiversidad en las islas volcánicas que en otro tipo de islas, debido a un proceso de colonización de especies continentales y posterior radiación evolutiva para ocupar los nichos ecológicos vacíos (1)	Los pinzones de Darwin (familia <i>Thraupidae</i>) en las islas Galápagos
Homologías	Estructuras similares para funciones muy diferentes en organismos emparentados filogenéticamente (2)	El miembro quiridido en los tetrápodos u estructura floral en las orquídeas
Estructuras vestigiales o lastre filogenético	Estructuras homólogas a las de grupos cercanos filogenéticamente sin función o incluso desventajosas (2)(3)	Pelvis vestigial en serpientes y ballenas
Ontogenia	Mayor parecido del proceso ontogénico en organismos más emparentados filogenéticamente (teoría de la recapitulación de Haeckel) (2)	Embriones de vertebrados
Código genético	Arbitrariedad del código genético y su universalidad (2)	Código genético universal
Selección artificial y experimentación	Producción de cambios observables en las características de los organismos con el paso de las generaciones en una población donde el ser humano ha realizado una selección continuada, direccional e intencionada de ciertos caracteres (1)(2)(3)	Variación de razas del perro doméstico (<i>Canis domesticus</i>) o de las especies de col (<i>Brassica maritima</i>)
Hibridación vegetal	Multitud de especies vegetales híbridas de dos especies cercanas, aislados reproductivamente debido a su poliploidía (1)	Especiación de <i>Galeopsis</i> en Europa
Observación directa	Análisis de casos reales en la naturaleza de cambios en las características de las poblaciones posteriores a cambios en las condiciones ambientales (1)(3)	Variación de las proporciones del color de la polilla <i>Biston betularia</i>
Biogeografía	Ambientes similares pero separados tienen especies diferentes (ley de Buffon) y ambientes diferentes pero cercanos tienen especies emparentadas filogenéticamente (1)(2)(3)	Ausencia de especies endémicas mediterráneas en California (<i>Lynx pardinus</i>)
Similaridad de proteínas	Árboles de similaridad de varias muestras de una misma proteína provenientes de diferentes especies, coinciden con los árboles de similaridad de otras proteínas para las mismas especies (2)	Estudios de Penny <i>et al.</i> [44]
Correspondencia entre grupos de datos	Principalmente la correspondencia entre observaciones de las teorías de la Geología y de la BE (1)(2)(3)	Teoría de la deriva continental

Tabla 8. Principales evidencias a favor de la E. Los números (1, 2 y 3) en la segunda columna indican las hipótesis de la TE que la evidencia correspondiente contribuye directamente a probar.: (1) la transformación de las especies con el transcurso de las generaciones, (2) la ascendencia común de todos los seres vivos y (3) la selección natural. Algunos de los ejemplos explicitados en la tercera columna se encuentran desarrollados en el ANEXO II. Tabla de elaboración propia [2, 6, 18].

3.7. Notas sobre la evolución

El concepto de E, tal y como lo conocemos hoy en día, demuestra ser en ocasiones poco intuitivo. La idea de un mecanismo muy complejo, inevitable, ciego, eviterno, sin una finalidad predefinida, queda a veces desplazada sutilmente de nuestra concepción de la E por otras ideas más rápidamente aprehendibles, como las ortogénicas o las mitológicas [6]. Esto, con frecuencia, provoca que se produzcan errores en la forma en la que tratamos el tema evolutivo incluso en contextos académicos y científicos, algo que debemos evitar

activamente. Para ayudarnos en esta tarea, en la siguiente tabla se ofrece una síntesis de algunos de errores frecuentes (véase Tabla 9).

ERROR	EXPLICACIÓN	SOLUCIÓN
Confusión de las acepciones del término	Utilizar la acepción popular de E (cualquier acción de cambiar) en un contexto en el que la posibilidad de estar empleando la acepción científica no sea taxativamente nula	Utilizar sinónimos para la acepción popular como: progreso, cambio, transformación, sucesión, desarrollo, despliegue...
Oposición de la E y la religión	Expresar la idea de que la E y la creencia en Dios son ideas incompatibles, excluyentes u opuestas en su totalidad (El Papa Juan Pablo II ya reconoció su compatibilidad en 1996)	Puntualizar que la E únicamente es incompatible con una lectura literal de la Biblia
Falacia naturalista	Expresar la idea de que lo natural es siempre bueno, animando a la recreación de procesos y estructuras naturales en la sociedad (Darwin ya afirmó que no debían sustraerse principios morales del funcionamiento de la naturaleza)	Animar a la recreación de procesos u estructuras naturales concretas en la sociedad por su aparente bondad, no por el simple hecho de ser naturales
Personificación de seres vivos	Otorgar a seres vivos (especialmente a los animales) una voluntad, intencionalidad, emocionalidad, capacidad de decisión, etc. más allá de la demostrada científicamente para su especie	Explicar la existencia de ciertos comportamientos o tendencias como fruto de las presiones selectivas, de la acción de la E o de los mecanismos fisiológicos que los permiten
Scala Naturae	Incitar a la idea de que existe un único linaje evolutivo secuenciado o que la vida tiene tendencia a progresar hacia una mayor complejidad	Puntualizar que existen multitud de linajes muy diferentes y que la complejidad es resultado de la E, pero que la E no resulta siempre en una mayor complejidad
Teleologismo	Expresar la idea de que ciertas características de los organismos «evolucionan para adaptarse mejor al medio»	Invertir la idea, afirmando que los organismos «se adaptan mejor al medio porque evolucionan»
E «individual»	Afirmar que un individuo evoluciona durante su vida para adaptarse mejor al medio o alcanzar el estado adulto	Utilizar los términos «aclimatación» o «plasticidad fenotípica» y «ontogenia» o «desarrollo» para hacer referencia a las modificaciones que puede sufrir un organismo durante su vida como consecuencia de cambios en el medio o de la culminación de su desarrollo orgánico, respectivamente
Superioridad o inferioridad	Expresar la idea de que ciertos seres vivos o taxones son «superiores» a otros «inferiores»	Afirmar que algunos son, en general, más complejos que otros o comparar directamente sus características y estructuras (e.g.: mayor tamaño, mejor visión...)
«Más o menos» evolucionado	Expresar la idea de que hay organismos o taxones «más/menos evolucionados» que otros (si bien algunos linajes han sufrido más transformaciones a lo largo su historia evolutiva que otros, que pueden presentar características reconocidas como más ancestrales, la idea puede ser confusa)	Afirmar que un cierto taxón es de aparición más reciente que otro o que su linaje ha sufrido más transformaciones o comparar directamente sus características y estructuras (e.g.: mayor tamaño, mejor visión...)
Adaptacionismo (*)	Declarar que todas las características de un organismo son adaptativas	Declarar que un determinado organismo está particularmente bien adaptado a su ambiente
Herencia inclusiva (*)	Tratar el tema de la herencia biológica como si sólo pudiera ser de tipo genético mendeliano, ignorando la epigenética y la herencia no genética	Matizar que, hasta el momento, la herencia genética es la reconocida como más determinante en la E de la mayoría de los seres vivos, pero que existen otros tipos

Tabla 9. Errores frecuentes en comunicaciones sobre E. (*) Temas controvertidos en el panorama actual de la BE. Tabla de elaboración propia [6, 15, 18, 33, 43].

4. METODOLOGÍA, TEMPORALIZACIÓN Y RECURSOS.

4.1. Actitudes esperables en el profesorado

Una vez llegados a este punto, ya sabemos qué se va a enseñar (contenidos) y para qué se va a enseñar (objetivos), el interrogante que nos queda ahora por resolver es **cómo vamos a enseñar**. En los siguientes subapartados se ponen a disposición del docente una serie de

estrategias, tanto generales para la UD como particulares para cada tipo de actividades, para responder a este interrogante. Sin embargo, previamente vamos a resaltar algunas actitudes del profesorado que son aconsejables para la correcta realización de su labor (véase Tabla 10).

AFÁN DE	EXPLICACIÓN	PROPUESTA
Adecuación	Esta UD, como cualquier material didáctico, es sólo una propuesta para el docente, es tarea suya adaptar la propuesta al contexto particular del aula en la que vaya a realizarse, según las exigencias del centro o del alumnado y según su propio estilo docente y experiencias previas.	Estudiar y analizar previamente la UD, descartando elementos de dudosa efectividad y sustituyéndolos por elementos de efectividad comprobada previa y personalmente en el aula.
Indagación	La práctica docente consiste en sí misma una constante labor de investigación y experimentación, el docente debe estar preparado para analizar constantemente los resultados e introducir mejoras.	Utilizar un diario de clase en el que se anoten observaciones, impresiones y los resultados de las actividades de evaluación.
Motivación	Los contenidos que se enseñan son relevantes para el alumnado, es importante hacerles saber por qué, trayendo si es necesario ejemplos, actualizando los contenidos o resaltando su aplicabilidad.	Esta UD se presta especialmente a ello, dada la esencialidad en Biología de los conceptos que se tratan.
Interdisciplinariedad	Los contenidos de esta UD no se imparten de forma aislada, tanto en su adaptación previa como en su impartición, es importante relacionarlos con los contenidos de otras unidades didácticas, otras asignaturas u otras etapas.	Esta UD también se presta especialmente a esto, dado que los saberes evolutivos son fácilmente aplicables a todas las áreas de la Biología e incluso a algunas ciencias sociales.
Glocalización	Es interesante implementar el modelo glocalizador, que se caracteriza por integrar lo más representativo del contexto singular (localidad o comarca) con la visión global de la colaboración entre los seres humanos para responder a los retos de la actualidad.	Por ejemplo, haciendo hincapié en el apartado de la Historia de las teorías evolutivas en España, a la vez que se analizan los retos actuales de la BE a nivel mundial.
Atención	En el aula, el alumnado presenta una gran diversidad, es labor del docente intentar atender a todos los alumnos y alumnas.	Proponiendo actividades voluntarias: de refuerzo para las personas que presenten mayores dificultades en el aprendizaje y de profundización para las más adelantadas.
Moralización	La enseñanza es una actividad moral, es importante que el docente de ejemplo en su práctica de los valores que se quieren enseñar, en este caso: el respeto a la diversidad y el espíritu científico.	Por ejemplo, demostrar respeto y atención por todo el alumnado, expresarse de forma cuidadosa y rigurosa a la hora de refutar o defender teorías evolutivas.

Tabla 10. Actitudes aconsejables en el profesorado para la impartición de la presente UD. Tabla de elaboración propia [7].

4.2. Estrategias didácticas generales de la UD

En este subapartado, incluimos algunas estrategias didácticas que son comunes a todas las actividades de la unidad y conforme a las cuales han sido diseñados los contenidos (véase Tabla 11). **El rendimiento académico de los discentes está ligado a las estrategias usadas por el docente**, por lo que cabe prestar atención a las mismas y cuidar su implementación [7].

ESTRATEGIA	EXPLICACIÓN
Repetición	A lo largo de la UD, ayudará a la interiorización del concepto por parte del alumnado el hecho de repetir en determinados momentos la definición de E (cuyo aprendizaje es esencial en la UD), debe hacerse poco, cuando parezca que no se ha comprendido o se ha olvidado, utilizando la misma forma lingüística y haciendo intervenir al alumnado.
Inclusión	Incorporar información nueva a las ideas existentes en la estructura cognitiva de un individuo. El estudiantado ya conoce el concepto de E (se enseña en bachillerato) en esta UD sólo vamos a profundizar en él, añadiendo matices, contextualizándolo históricamente y aportando evidencias sobre él.
Subordinación	Partir de una idea fundamental o general (el concepto de E) para llegar a sus componentes (las pruebas de la E, la historia de las teorías evolutivas...).
Enunciación de los objetivos	Hacer con frecuencia partícipes a los/as alumnos/as de qué es lo que se pretende lograr con una determinada actividad, en una determinada sesión...

Tabla 11. Estrategias docentes comunes a todas las actividades de la UD. Tabla de elaboración propia [7].

4.3. Estrategias docentes en las actividades

En el apartado de los objetivos didácticos (véase Tabla 2) ya especificamos que nuestra UD cuenta con objetivos relacionados tanto con el aprendizaje de conceptos, datos y hechos, como con el de procedimientos y actitudes. Por esta misma razón, hay actividades destinadas al aprendizaje de cada uno de estos tipos de contenidos y las estrategias del docente deberán ser diferentes durante la realización de las mismas (véase Tabla 12). Aunque en la presente propuesta didáctica busquemos alejarnos de un método puramente expositivo, la exposición será una de las estrategias empleadas, pero restringida a sólo a unas pocas actividades y combinado con otros métodos.

TIPO DE ACTIVIDAD	ESTRATEGIAS
Enseñanza de datos y hechos	A partir de una exposición del profesor, habrá que buscar diversificar la vía verbal (empleando recursos diversos, vídeos, imágenes...) y resumir al máximo la información expuesta. Igualmente, es necesario evitar la monotonía, modificando el tono de voz, haciendo pausas para permitir la asimilación de los datos y el surgimiento de dudas, moviéndose por el aula, etc.. Los discentes tendrán que realizar actividades que les ayuden a relacionar la información con datos previamente aprendidos.
Enseñanza de conceptos	A través de una guía del razonamiento , manteniendo un diálogo con los discentes en el que se plantean interrogantes para construir relaciones lógicas entre una información nueva y otra anterior. Las preguntas no deben sugerir la respuesta, no deben implicar optar entre dos soluciones, deben referirse a ideas básicas y no a varios contenidos al mismo tiempo (a no ser que se pretenda establecer una relación general). Además, se deben enunciar con claridad y confianza, dando tiempo para reflexionar la respuesta y no insistiendo si no se logra la respuesta esperada.
Enseñanza de procedimientos	A partir de la imitación , la observación de un experto (el docente), y de la enseñanza directa del docente u otros discentes que guíen el proceso.
Enseñanza de actitudes	Mediante actividades grupales y debates que potencien los contextos para la resolución de conflictos, la toma de decisiones y la puesta a prueba de la adecuación entre los valores exigidos y las normas sociales.

Tabla 12. Estrategias docentes según el tipo de actividad. Tabla de elaboración propia [7].

4.4. Recursos y aplicabilidad

Para la realización de las actividades, será necesaria una serie de recursos, tanto fungibles como inventariables, con los que se debe contar, a parte de los recursos humanos (el docente). No obstante, las exigencias de esta UD en términos de recursos son muy básicas por lo que su **viabilidad es efectiva en casi cualquier centro universitario**: sólo será necesaria un aula con mesas y sillas, accesible para todo el estudiantado, donde puedan ocasionalmente organizarse en grupos, asistir cómodamente a las exposiciones de profesor/a, equipada con una pizarra o proyector y un servicio de reprografía en el centro. Por su parte, el alumnado deberá contar con material escolar suficiente y posibilidad de conexión a Internet.

4.5. Temporalización y modalidad

Una aproximación de la duración de las actividades que conducirán a la consecución de los objetivos y las competencias de la presente UD será la siguiente: **siete sesiones de cincuenta minutos cada una**, distribuidas a lo largo de un mes, como máximo, o de una semana, como mínimo. La UD puede llevarse a cabo en cualquier momento del curso; sin embargo, es aconsejable que sea al principio puesto que los contenidos que se imparten,

básicos para la Biología, pueden ser de utilidad posteriormente para el aprendizaje inclusivo en otras UDD. Es necesario mencionar, además, que la UD está prevista para ser desarrollada presencialmente.

5. ACTIVIDADES.

Todo lo expuesto hasta ahora en este trabajo (los objetivos, los contenidos y la metodología) se materializa y combina en este punto: las actividades, que aquí se presentan secuenciadas durante las diferentes sesiones (véase Tabla 13), en las que habrá que impartir los contenidos aplicando las diferentes estrategias para conseguir lograr los objetivos.

SESIÓN	ACTIVIDAD	CONTENIDOS Y OBJETIVOS	DETALLE
1ª	Discurso motivacional (10 min)	-	El docente se presentará y tomará contacto con el alumnado introduciendo el tema que se va a estudiar. Lo hará con una exposición de la importancia de la E en las ciencias de la vida, para lo cual podrá utilizar como inspiración el apartado «Introducción» de este trabajo. También podrá hacer hincapié en la demostrada carencia de conocimientos sobre el tema en el estudiantado de Biología en España, animándolos a cambiar esta situación.
	Prueba inicial (30 min)	-	Se repartirá a los discentes un examen diseñado en base a las características especificadas en el ANEXO III, con un triple objetivo: conocer el nivel de aceptación de la TE, conocer el nivel previo de conocimientos sobre E y poder comparar el progreso realizado al finalizar la UD.
	Puesta en común (5 min)	(3)	Se preguntará a la clase qué les ha parecido la prueba inicial y el discurso motivacional y se pondrán en común las opiniones o comentarán las preguntas consideradas más complejas.
	Presentación de los objetivos (5 min)	-	Antes de finalizar la sesión, el docente presentará al alumnado los objetivos didácticos y las competencias básicas de la UD, explicará brevemente la planificación de las posteriores sesiones y pondrá a su disposición los contenidos (en papel o en línea).
FUERA DEL AULA	Repaso de los contenidos	-	Tras la primera sesión, el alumnado deberá repasar fuera del aula sus conocimientos sobre la E, en especial aquellos en los que haya revelado mayores dificultades en la evaluación inicial. Es aconsejable que no utilice para ello el mismo contenido que le ha sido proporcionado, sino que recurra a sus libros de texto de bachillerato o a fuentes fidedignas de Internet.
2ª	Guía del razonamiento (35 min)	Concepto de E (biológica) + ¿Por qué «TE»? (1)	Siguiendo el apartado «Concepto de E (biológica)» y «¿Por qué TE?», el docente deberá, mediante guía del razonamiento (véase Tabla 12), hacer llegar dichos contenidos al alumnado, mientras realizará en la pizarra un esquema explicativo con sus respuestas.
	Realización de un esquema (15 min)		Animará al alumnado a realizar <i>in situ</i> un esquema personal de los contenidos dados en la sesión en su cuaderno y los supervisará antes de finalizar la clase.
FUERA DEL AULA	Ejercicio de reflexión		Como actividad de profundización y refuerzo de los contenidos dados, el docente retará al alumnado a buscar una definición de E aún más restrictiva que la que se da como <i>sensu strictissimo</i> en los contenidos (véase Cuatro 3).
3ª	Exposición interactiva de contenidos (50 min)	Historia de las teorías evolutivas + E en España (3)(4)(5)(6)	El docente entregará a cada alumno o alumna una fotocopia de la Tabla 5 muda y pedirá que rellenen la tabla mientras expone los contenidos bajo el epígrafe «Historia de las teorías evolutivas». Para ello, conviene apoyarse en fotografías de las figuras o las obras más relevantes en una presentación de diapositivas (en caso de que se pueda utilizar un proyector o pizarra digital)
FUERA DEL AULA	Pequeña investigación		El docente repartirá aleatoriamente antes de finalizar la sesión anterior un nombre de los que se encuentran en la primera columna de las tablas 4 y 5 a cada alumno o alumna y les pedirá que realicen una búsqueda en Internet y confeccionen una pequeña biografía del personaje (en un folio aparte, entre 150 y 250 palabras), recomendando alguna fuente (como el reportaje de Peláez [34]).
4ª	Exposición de trabajos (15 min)		Al iniciar la clase, el docente recogerá todas las biografías y volverá a repartir aleatoriamente. Después irá nombrando a los personajes y pidiendo voluntarios/as para leer su biografía. Si en alguna faltaran datos de los especificados en los contenidos, el docente los proporcionará y pedirá a los discentes que los apunten en las biografías que les han sido entregadas. Al terminar, expondrá muy brevemente los problemas de la BE en España.

	Exposición de contenidos (15 min)	Pruebas a favor de la E (2)(6)(B)	Mediante una exposición, el docente impartirá los contenidos brevemente.
	Análisis de ejemplos (20 min)		Ejemplo a ejemplo de los que se encuentran en el ANEXO II, el docente irá pidiendo a los discentes que los lean y pidiendo que justifiquen por qué pertenecen a una categoría u otra de la Tabla 6.
FUERA DEL AULA	Lectura y repaso	Notas sobre la E (7)(A)	Antes de finalizar la sesión anterior, el docente pedirá al alumnado que, antes de la siguiente sesión, revise todo el contenido dado hasta ese punto y lea el apartado «Notas sobre la E».
5ª	Repaso de contenidos (10 min)		El docente dejará un espacio de tiempo para resolver dudas sobre los contenidos. De no haber dudas, repasará los contenidos dados hasta el momento, haciendo hincapié en el concepto de E.
	Exposición de procedimiento (10 min)		El docente pedirá al alumnado que lea uno de los textos del ANEXO V e irá, siguiendo la guía del ANEXO VI, comentándolo críticamente. Deberá verbalizar las etapas del proceso que está siguiendo.
	Comentario de textos (30 min)		Después, pedirá al alumnado que se divida en parejas y que, mientras un miembro recuerda al otro los pasos del proceso, el otro vaya comentando críticamente el texto. El docente pedirá un voluntario o una voluntaria para leer su comentario y lo corregirá en voz alta. Los miembros de la pareja alternarán los roles con un segundo texto a comentar.
FUERA DEL AULA	Comentario de un texto	(6)(7)(A)	El docente pedirá que, para la próxima clase, comenten críticamente un texto del ANEXO V, siguiendo los ejemplos dados en clase. El profesor recogerá al inicio de la siguiente clase los comentarios para su corrección.
6ª	Debate guiado (25 min)	(3)(6)(B)	El docente pedirá a los/as alumnos/as que formen grupos de entre cuatro y cinco integrantes y procederá a enunciar una de las citas u observaciones que se encuentran en el ANEXO VII. Pedirá que en cada grupo se llegue a un consenso sobre cómo explicar la frase desde la TE. Luego, cada grupo defenderá sus argumentos oralmente por orden. Se repetirá el proceso cuantas veces sea posible, utilizando frases diferentes de las que se encuentran en el ANEXO VII.
	Prueba final (25 min)	-	El docente repartirá al alumnado un examen con las características especificadas en el ANEXO III y procederán a realizarlo.
7ª	Tutoría (25 min)	-	Este espacio de tiempo se dedica a solventar dudas que planten los discentes o a repasar algún contenido.
	Puesta en común (25 h)	(3)	El docente entregará corregidos a cada alumno y a cada alumna su evaluación inicial, su comentario de texto y su evaluación final y pedirá que revisen los documentos. Después comentarán entre docente y discentes cómo podría mejorarse la UD.

Tabla 13. Secuencia de actividades de la UD. Los números de la tercera columna hacen referencia aquéllos de la Tabla 2.

6. EVALUACIÓN

Como sabremos llegados a este punto del trabajo, en la naturaleza no hay procesos explícitos de evaluación. Sin embargo, sabemos también que la «mejora» se propicia continuamente mediante el cambio en el tiempo y el descarte de las características deletéreas. La evaluación en los procesos educativos juega este papel, permitiéndonos la mejora al emitir juicios y tomar decisiones en base a las diferencias entre lo previsto (los objetivos) y lo logrado (los resultados). Y esta es la visión con la que hay que enfrentar la tarea de la evaluación, no como una parte del proceso educativo que empodera al agente evaluador (normalmente el docente) frente al objeto de la evaluación (normalmente el discente). Por ello, debe ser siempre colaborativa y transparente [7].

Siguiendo con la intención de diversificación que hemos defendido a lo largo del trabajo, vamos a emplear diversos tipos e instrumentos de evaluación. La evaluación puede

clasificarse según varios criterios: según el momento en el que se realice (diagnóstica, formativa o sumativa), según la forma en la que se obtengan los resultados (cuantitativa o cualitativa) o según el agente que la lleve a cabo (interna o externa) [7]. En la presente UD, proponemos una serie de instrumentos de calificación (véase Tabla 14) distribuidos a lo largo de las actividades anteriormente descritas, que incluyen todo tipo de evaluaciones.

ACTIVIDAD	INSTRUMENTO	OBJETO	OBJETIVO	TIPO
Prueba inicial	Examen escrito	Discentes	-	EXTERNA – DIAGNÓSTICA - CUANTITATIVA
Puesta en común	Debate	Discentes	-	EXTERNA – DIAGNÓSTICA - CUALITATIVA
Realización de un esquema	Observaciones	Discentes	(1)	EXTERNA – FORMATIVA - CUALITATIVA
Exposición interactiva de contenidos	Observaciones	Discentes	(4)(5)	EXTERNA – FORMATIVA - CUALITATIVA
Exposición de trabajos	Observaciones	Discentes	(4)(5)	EXTERNA - FORMATIVA - CUALITATIVA
Análisis de ejemplos	Observaciones	Discentes	(2)(6)(B)	EXTERNA - FORMATIVA - CUALITATIVA
Comentario de textos	Observaciones	Discentes	(7)(A)	EXTERNA – FORMATIVA - CUALITATIVA
Comentario de un texto	Práctica real	Discentes UD	(7)(A)	EXTERNA – SUMATIVA - CUANTITATIVA
Debate guiado	Debate	Discentes	(3)(B)	EXTERNA – SUMATIVA - CUANTITATIVA
Prueba final	Examen escrito	Discentes Docente UD	TODOS	INTERNA – SUMATIVA - CUANTITATIVA
Puesta en común	Debate	Discentes Docente UD	TODOS	INTERNA – SUMATIVA - CUALITATIVA

Tabla 14. Instrumentos de evaluación. Los números hacen referencia a aquéllos de la Tabla 2. Tabla de elaboración propia [7].

Aunque se divida la evaluación en diferentes instrumentos, haciendo referencia a diferentes actividades, ésta tiene que pretender siempre ser lo más continua, global e integradora posible. Además, aunque en algunas actividades el alumnado colabore entre sí, la evaluación será siempre individualizada [7].

Antes de finalizar este apartado, cabe mencionar que la labor de registrar los resultados es siempre del docente, mientras que la interpretación y la toma de decisiones entorno a los mismos, que se realizará en la última sesión durante la puesta en común, pertenece también a los discentes. Será tarea del docente entonces contar con un diario de clase en el que registrar todos los resultados de las evaluaciones cualitativas y corregir los exámenes y trabajos que pertenezcan a las evaluaciones cuantitativas. Asimismo, será recomendable que realice un informe con sus impresiones y propuestas de mejora al finalizar la UD.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Baldwin, J. M. (1896). A New Factor in Evolution. *American Naturalist*, 30: 441-451.
2. Freeman, S. y Herron, J.C. (2002). *Análisis Evolutivo*. Pearson Educación S.A., Madrid (España).
3. Núñez-Farfán, J., Careaga, S.A., Feroni, J., Ruiz-Montoya, L. y Valverde, P.L. (2003). La evolución de la plasticidad fenotípica. *Revista Especializada en Ciencias Químico-biológicas*, 6: 16-24.
4. Fenstermacher, G.D., (1989). Tres aspectos de la filosofía de la investigación sobre la enseñanza en Wittrock, M.C. (1989). *La investigación de la enseñanza, I*. Paidós, Barcelona (España).
5. Marhuenda, F. (2000). *Didáctica General*. Ediciones de la Torre, Madrid (España).
6. Soler, M. (Ed.)(2003). *Evolución, la base de la biología*. Proyecto Sur Ediciones S.L., Granada (España).
7. Medina Rivilla, A. y Salvador Mata, F. (Eds.)(2009). *Didáctica General*. Pearson Educación, Madrid (España).
8. Gefaell, J., Prieto, T., Abdelaziz, M., Álvarez, I., Antón, J., Arroyo, J., Bella J.L., Botella, M., Bugallo, A., Claramonte, V., Gijón, J., Lizarte, E., Maroto, R.M., Megías, M., Milá, B., Ramón, C., Vila, M. y Rolán-Alvarez, E. (2020). Acceptance and knowledge of evolutionary theory among third-year university students in Spain. *PLOS ONE* 15: e0238345.
9. Universidad de Sevilla (2019). *Grado en Biología*. Universidad de Sevilla. <https://www.us.es/estudiar/que-estudiar/oferta-de-gradados/grado-en-biologia>
10. Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 3 de enero de 2015, 3: 213-222.
11. Orden del 15 de enero del 2021, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad y se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, 18 de enero de 2021, 7: 265-268.
12. Ministerio de Educación y Cultura (1989). *Diseño Curricular Base de Educación Infantil y Primaria*. Servicio de Publicaciones del Ministerio, Madrid (España).
13. Díez Gutiérrez, E.J. (2003). *Web de Enrique Javier Díez Gutiérrez*. Universidad de León. <http://educar.unileon.es/Anigua/Didactic/UD.htm>
14. Garza Levy, A. (2015). El concepto de evolución biológica en los libros de texto gratuitos. *Ciencias*, 115: 70-79.
15. Futuyma, D.J. (1998). *Evolutionary Biology* (3ªed.). Sinauer Associates Inc., Massachusets (EEUU).
16. Ministerio de Educación y Cultura (2021). *Banco de trabajo de Latín. DidacTerion*. Gobierno de España. <https://www.didac-terion.com/esddlt.php>
17. Real Academia Española (2020). *Diccionario de la lengua española* (23ªed.). Real Academia Española. <https://dle.rae.es>
18. Ridley, M. (2004). *Evolution* (3ªed.). Blackwell Science, Oxford (Reino Unido).
19. Real Academia Española (2005). *Diccionario panhispánico de dudas*. Real Academia Española. <https://dle.rae.es>
20. Darwin, C. (2010). *El Origen de las Especies* (trad. A. Zuleta) (ed. J. Llorca). Espasa Libros S.L., Barcelona (España). (Trabajo original publicado en 1859)
21. Ulett, M.A. (2014). Making the case for orthogenesis: the popularization of definitely directed evolution (1890-1926). *Studies in History and Philosophical Biological and Biomedical Sciences*, 45: 124-32.
22. Lovejoy, A.O. (1936). *The Great Chain of Being*. Harvard University Press, Cambridge (Reino Unido).
23. Haig D. (2007). Weismann rules! OK? Epigenetics and the Lamarckian temptation. *Biology and Philosophy*, 22: 415– 428.
24. Barbadilla, A., Casillas, S. y Ruiz, A. (2019). *La teoría neutralista de la evolución molecular, medio siglo después*. Investigación y Ciencia. <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-test-cuntico-definitivo-759/a-teora-neutralista-de-la-evolucion-molecular-medio-siglo-despus-17163>
25. Eirín-López, J.M. (2012). *Gigantes de la evolución. A propósito de la evolución*. *SciLogs, Medicina y Biología*. Investigación y Ciencia. <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/medicina-y-biologia/28/posts/gigantes-de-la-evolucion-10427>
26. Jimerno, A., Ballesteros, M., Ugedo, L. y Madrid, M.A. (2009). *Biología, 2º de Bachillerato*. Santillana Educación S.L., Madrid (España).
27. Martínez Pulido, C. (2020). *Eva Jablonka y Marion Lamb, dos biólogas en la vanguardia del pensamiento evolutivo*. *Mujeres con ciencia. Cátedra de Cultura Científica*. Universidad del País Vasco. <https://mujeresconciencia.com/2020/07/28/eva-jablonka-y-marion-lamb-dos-biologas-en-la-vanguardia-del-pensamiento-evolutivo/>
28. García Olmedo, F. (2004). *La estructura de la teoría evolutiva. Stephen Jay Gould*. Archivo Digital de la Universidad Politécnica de Madrid. http://oa.upm.es/9057/1/Olmedo_257.pdf
29. Gould, S.J. y Vrba, E.S. (1982). Exaptation, a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 8(1): 4-15.
30. Bonduriansky, R. y Day, T. (2009). Nongenetic Inheritance and Its Evolutionary Implications. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40: 103–25.

31. Chevin, L., Lande, R. y Mace, G.M. (2010) Adaptation, Plasticity, and Extinction in a Changing Environment: Towards a Predictive Theory. *PlosBiology*, 8(4): 1-8.
32. Dickens, T.E. y Rahman, Q. (2012). The extended evolutionary synthesis and the role of soft inheritance in evolution. *Proceedings of the Royal Society*, 279: 2913–2921.
33. Futuyma, D.J. (2017). Evolutionary biology today and the call for an Extended Synthesis. *Interface Focus*, 7: 20160145.
34. Peláez, J. (2015). ¿Cómo llegó el darwinismo a España? Cuaderno de Cultura Científica. <https://culturacientifica.com/2015/11/20/como-llego-el-darwinismo-a-espana/>
35. Documentos RNE (2017). *Félix de Azara, el español que inspiró a Darwin, en 'Documentos RNE'*. RTVE. <https://www.rtve.es/radio/20170512/felix-azara-espanol-inspiro-darwin-este-sabado-documentos-rne/1544248.shtml>
36. Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). *Biografía de Félix de Azara*. Biografías y Vidas. https://www.biografiasyvidas.com/biografia/a/azara_felix.htm el 21 de junio de 2021.
37. Perote Alejandro, A. y Mateos Cachorro, A. (2010). 150 años después de Darwin: ¿Evolución, futuro o crisis? *Lecciones sobre evolución humana*. Instituto Tomás Pascual Sanz, Madrid (España).
38. Santos, L. (2014). *Entrevistas. Francisco José Ayala: «España paga la educación de científicos que, cuando empiezan a rendir, benefician a otros»*. UMB Divulga. Barcelona recerca e innovació. https://www.uab.cat/web?cid=1096481466568&page_name=UABDivulga%2FPage%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1345676905303
39. De Renzi, M. (1998). Obituario: recordando a Pere Alberch, biólogo evolutivo. *Boletín de la Sociedad Española de Paleontología*, 31.
40. Instituto Cervantes (2016). *Juan Luis Arsuaga. Biografía*. Bibliotecas y Documentación. Instituto Cervantes. https://www.cervantes.es/bibliotecas_documentacion_espanol/creadores/arsuaga_juan_luis.htm
41. Marcos, A. (2019). Juan Luis Arsuaga: «La vida no puede ser trabajar toda la semana e ir el sábado al supermercado». *ElPaís*. https://elpais.com/elpais/2019/05/31/ciencia/1559293697_965411.html
42. Soler, M. (2021). *Personal: Manuel Soler Cruz*. Departamento de Zoología. Universidad de Granada. <http://zoologia.ugr.es/pages/personal/manuelsoler>
43. Agence France-Presse (1996). El Papa acepta que el evolucionismo es conciliable con el dogma católico. *ElPaís*. https://elpais.com/diario/1996/10/24/sociedad/846108007_850215.html
44. Penny, D, Foulds, L.R. y Hendy, M.D. (1982). Testing the theory of evolution by comparing the phylogenetic trees constructed from five different protein sequences. *Nature*, 297: 197-200.
45. Moore, R., Cotner, S. y Bates, A. (2009). The influence of religion and high school biology courses on students' knowledge of evolution when they enter college. *The Journal of Effective Teaching*, 9: 4–12.

ANEXO I

OBJETIVOS Y COMPETENCIAS DEL GRADO EN BIOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA [9]

Objetivos

1. Estudio, identificación y clasificación de organismos vivos, así como, sus restos y señales de actividad.
2. Investigación, desarrollo y control de procesos biológicos industriales.
3. Producción, transformación, manipulación, conservación, identificación y control de calidad de organismos y materiales de origen biológico.
4. Análisis de todos los agentes y materiales biológicos.
5. Estudios de los efectos biológicos de productos de cualquier naturaleza y control de su acción.
6. Estudios genéticos y su aplicación.
7. Estudios ecológicos, evaluación del impacto ambiental, gestión y conservación de poblaciones y ecosistemas.
8. Planificación y explotación de los recursos naturales renovables terrestres y marinos.
9. Enseñanza de la Biología en los niveles educativos donde se exige la Titulación mínima de licenciado.
10. Asesoramiento científico y técnico sobre temas biológicos.
11. Análisis científico aplicado a procesos sanitarios.
12. Todas aquellas actividades que guarden relación con la Biología.

Competencias generales

1. **Demostrar poseer y comprender conocimientos en el área de estudios de la Biología que parte de la base de la educación secundaria general y se suele encontrar a nivel que, si bien se apoya en libros de texto avanzados, incluya también algunos aspectos que impliquen conocimientos procedentes de la vanguardia de la Biología.**
2. Saber aplicar los conocimientos teóricos al trabajo práctico o vocación de una manera profesional y poseer las competencias que suelen demostrarse por medio de la elaboración y defensa de argumentos y resolución de problemas dentro del área de la Biología.
3. **Tener capacidad de reunir e interpretar datos relevantes (normalmente dentro del campo de la Biología) para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole científica, social o ética.**
4. *Poder transmitir información, ideas, problemas y soluciones del ámbito biológico a un público tanto especializado como no especializado.*
5. Haber realizado las habilidades de aprendizaje necesarias para emprender estudios posteriores con un alto grado de autonomía.
6. *Desarrollar actitudes críticas basadas en el conocimiento.*
7. Adquirir la capacidad de organización, planificación y trabajo en grupo.
8. *Adquirir la capacidad de comunicación oral y escrita en el ámbito científico, tanto en castellano como en lengua extranjera, de relevancia para el ejercicio profesional.*
9. *Utilizar las fuentes de información dentro del ámbito de las Ciencias de la Vida.*
10. Desarrollar la creatividad, capacidad de iniciativa, capacidad de gestión empresarial y cultura emprendedora.

Competencias específicas

1. Adquirir un conocimiento adecuado de las leyes físicas que rigen los procesos biológicos.
2. Adquirir un conocimiento adecuado de las bases químicas de funcionamiento de los seres vivos.
3. Aplicar los procesos y modelos matemáticos necesarios para describir los principios organizativos, en el modo de funcionamiento y las interacciones de los sistemas biológicos.
4. Aprender a planificar e interpretar los resultados de los análisis experimentales desde el punto de vista de la significación estadística.
5. Aprender el manejo de las bases de datos y de los programas informáticos que pueden emplearse en el ámbito de las Ciencias de la vida.
6. **Aplicar los principios básicos del pensamiento y del método científico.**

7. Saber obtener información de la observación de los seres vivos, de los procesos funcionales que desarrollan y de las interacciones que se establecen entre ellos.
8. Utilizar los equipos, instrumentos y técnicas básicas para la experimentación biológica en sus diferentes campos.
9. Ser capaz de diseñar experimentos, analizar y representar con gráficas adecuadas los datos, interpretar sus resultados y presentarlos en formato de un trabajo científico.
10. **Analizar críticamente trabajos científicos y familiarizarse con su estructura.**
11. Aplicar protocolos y normativas propios del campo de la experimentación científica.
12. Realizar diagnósticos biológicos.
13. Identificar y analizar material biológico y sus anomalías.
14. Realizar cultivos celulares y de tejidos.
15. Aislar, analizar e identificar biomoléculas.
16. Evaluar actividades metabólicas.
17. **Conocer los principios de la determinación y clasificación de los seres vivos.**
18. **Valorar los aspectos ambientales de los distintos grupos de organismos vivos.**
19. Valorar los aspectos sociales de las investigaciones biológicas.
20. **Conocer los distintos niveles de organización de los seres vivos.**
21. Identificar y utilizar especies bioindicadoras.
22. Localizar, obtener, identificar, manejar, conservar y observar especímenes.
23. **Analizar e interpretar el comportamiento animal.**
24. **Manejar la terminología básica requerida en el aprendizaje de las distintas áreas de conocimiento de la Biología.**
25. Conocer el funcionamiento de cada uno de los sistemas orgánicos y la integración de los mismos.
26. **Comprender la plasticidad de los mecanismos fisiológicos como forma de adaptación de los seres vivos a cambios posibles en su ambiente.**
27. Aplicar los conocimientos fisiológicos al campo de la sanidad, humana y animal, al control de poblaciones animales y al bienestar animal.
28. Realizar pruebas funcionales y determinar parámetros vitales.
29. Analizar la influencia de los factores ambientales sobre la fotosíntesis y la producción de los vegetales.
30. Diseñar y aplicar procesos biotecnológicos.
31. Controlar 'in vivo e in vitro' los procesos biológicos de las plantas.
32. Diagnosticar el estado hídrico y nutricional de las plantas.
33. Saber hacer las aplicaciones prácticas fundamentales de las hormonas vegetales para controlar la fisiología de la planta.
34. **Poder aplicar los conocimientos adquiridos al desarrollo futuro de actividades profesionales en Biología, Biotecnología o Investigación en el Campo de las Ciencias de la Vida.**
35. Identificar y determinar microorganismos mediante técnicas bioquímicas.
36. Cultivar poblaciones bacterianas y ejercer el control de la mismas.
37. Conocer el mecanismo de transferencia del material genético.
38. Conocer los mecanismos de interacción de los fagos con las bacterias.
39. Analizar, modelar y predecir el funcionamiento de los sistemas ecológicos.
40. Realizar estudios ecológicos y de impacto ambiental.
41. **Llevar a cabo la gestión, explotación y conservación de poblaciones, ecosistemas y recursos naturales.**
42. Dirigir, redactar y ejecutar proyectos en Biología.
43. Tener conocimientos básicos sobre Derecho (Procedimiento Administrativo; Legislación sectorial sobre sanidad, educación, biodiversidad y patrimonio natural, montes, infraestructuras varias, pesca, evaluación medio ambiental, bioética, trabajos con organismos vivos, patentes en biotecnología, etc.).
44. Saber interpretar balances económicos.
45. **Conocer, desarrollar y valorar las competencias profesionales del Biólogo.**
46. **Implantar y desarrollar sistemas de gestión relacionados con la Biología.**
47. **Realizar servicios de asesoramiento relacionados con la Biología.**
48. **Tener conocimientos teóricos y prácticos sobre los sistemas de reproducción en plantas y su importancia para comprender los procesos evolutivos, la Taxonomía, la Conservación de la Biodiversidad y el manejo de plantas útiles.**
49. Lograr la capacidad para analizar el sistema de reproducción de las plantas.
50. Lograr la capacidad para establecer hipótesis de trabajo y diseños experimentales sencillos en temas de investigación relacionados con los sistemas de reproducción en plantas.
51. Conocer el origen de las plantas útiles más comunes.

52. **Desarrollar procedimientos propios de las Ciencias de la Vida.**
53. Conocer el uso farmacológico e industrial de los organismos vivos o de sus componentes.
54. Conocer los usos populares de las plantas.
55. Adquirir conocimientos prácticos sobre las aplicaciones de plantas en Agricultura, Silvicultura y Jardinería, con una dedicación especial a las plantas mediterráneas.
56. **Adquirir conocimientos teóricos y prácticos sobre los problemas relacionados con la conservación de las especies silvestres.**
57. Conocer las diferencias en la diversidad según el medio.
58. **Saber las técnicas de medida de la diversidad y monitorización ambiental.**
59. **Conocer los principales grupos de organismos vivos en los distintos medios y las amenazas que sufren.**
60. **Conocer las técnicas de conservación de especies amenazadas.**
61. Conocer la estructura y función de la célula eucariota.
62. Conocer la estructura, estabilidad y función de biomoléculas.
63. Saber la regulación e integración de las funciones celulares.
64. **Conocer las adaptaciones celulares al medio.**
65. Conocer la replicación, transcripción, traducción y modificación del material genético.
66. Conocer los mecanismos de selección y clasificación molecular.
67. Conocer los flujos moleculares entre orgánulos y compartimentos.
68. Conocer la estructura, composición y propiedades de los elementos citoesqueléticos.
69. Conocer el transporte de orgánulos y moléculas a lo largo de microtúbulos y filamentos de actina.
70. Conocer las vías que regulan y determinan cambios en la red citoesquelética.
71. Conocer los mecanismos de la señalización celular.
72. Conocer la Biología del Desarrollo.
73. **Conocer la regulación y el control de los ciclos biológicos.**
74. Analizar la biología celular y molecular del cáncer.
75. Comprender la estructura y función de los genomas vegetales. Comprender la base molecular de los procesos de desarrollo vegetal. Comprender la biología molecular de la reproducción vegetal.
76. **Comprender a nivel molecular las respuestas de las plantas frente a diferentes tipos de estrés.**
77. Comprender las técnicas básicas para la transformación genética de organismos vivos y generación de organismos vivos transgénicos.
78. Conocer los usos de la Biotecnología en la mejora de los organismos vivos.
79. **Analizar los diferentes cambios globales, de inducción antrópica, que operan a diferentes escalas en nuestro planeta.**
80. Saber los mecanismos de biosíntesis de macromoléculas y su regulación.
81. Conocer y usar técnicas para el análisis estructural de macromoléculas biológicas.
82. Identificar los mecanismos de génesis de la conducta.
83. Comprender los mecanismos fisiológicos básicos que explican los comportamientos.
84. Describir los distintos patrones y tipos de conductas básicas.
85. **Entender, en términos evolutivos, cómo se pueden seleccionar distintos comportamientos.**
86. **Conocer las bases biológicas de la Biodiversidad vegetal.**
87. **Conocer los procesos citogenéticos y reproductivos que inciden en el fenómeno de la especiación en plantas.**
88. **Saber interpretar las características específicas de la vegetación en la región mediterránea.**
89. Saber realizar y valorar un inventario florístico.
90. Conocer la metodología y las técnicas básicas para el estudio de los ecosistemas acuáticos, el diseño del muestreo y la interpretación final de su funcionamiento.
91. Adquirir una base teórica sólida acerca de los procesos moleculares que rigen el funcionamiento de los seres vivos.
92. Aplicar la teoría a la práctica de cualquier actividad biotecnológica.
93. Identificar y manejar microorganismos de la microbiota normal de cualquier ecosistema, incluida la especie humana, mediante técnicas moleculares, celulares y microbiológicas.
94. **Comprender las bases moleculares, celulares, bioquímicas y ecológicas de la interacción planta-planta, planta-microorganismo y planta-herbívoro, mediada por metabolitos vegetales.**
95. Conocer la generación de la diversidad de los receptores del sistema inmune adaptativo.
96. Conocer la estructura, función y usos de los anticuerpos como herramientas en técnicas de laboratorio, diagnósticas y terapéuticas.
97. Resolver problemas en Microbiología.
98. Observar y manejar microorganismos 'in vitro' y en condiciones naturales.
99. Elaborar medios de cultivo.

- 100. Interpretar los procesos y patrones relacionados con la distribución de los seres vivos.**
101. Aplicar en la práctica el Código Internacional de Nomenclatura Biológica.
102. Conocer 'de visu' una muestra representativa de la flora silvestre mediterránea.
- 103. Conocer las teorías sobre el origen y evolución de los seres vivos y los principales eventos de su historia evolutiva a escala geológica.**
104. Conocer la organización morfofuncional y génesis de los diferentes tejidos biológicos e integración de los mismos en la constitución de los órganos.
105. Profundizar en el conocimiento de bioenergética y de las rutas centrales del metabolismo energético.
- 106. Profundizar en el conocimiento práctico de técnicas de estudio de interacción proteína-proteína en la relación célula animal-patógeno.**
107. Conocer las características funcionales de los seres vivos que habilitan para la investigación, docencia y explotación de los mismos.
108. Conocer la estructura y los mecanismos que participan en la respuesta inmunitaria innata.
109. Conocer los mecanismos de acción del sistema inmunitario y la integración de los mismos como garantía en la defensa de los organismos frente a las agresiones externas.
110. Conocer las nociones básicas de probabilidad y algunos modelos clásicos de distribuciones.
- 111. Ser capaz de utilizar los ordenadores para resolver problemas y simular sistemas biológicos planteados en términos matemáticos, así como para interpretar los resultados.**

ANEXO II

EJEMPLOS DE PRUEBAS A FAVOR DE LA EVOLUCIÓN

EJEMPLO 1: El caso de la familia Equidae [6].

Un ejemplo de caso bien documentado sobre la evolución de un grupo animal es la transición entre los géneros de la familia de los caballos (Equidae)(véase Figura 1). El género *Hyracotherium* (del Eoceno inferior, 20-35 kg, ramoneador, apoyaba los cuatro dedos en las patas anteriores), considerado como el primer équido conocido, fue transformándose gradualmente hasta diversificarse en varios géneros durante el Mioceno, uno de los cuales dio lugar a los caballos actuales (pertenecientes al género *Equus*, originado en el Pleistoceno). Las diferencias entre *Hyracotherium* y los équidos más recientes son numerosas y notables, pero se conoce que todas estas características han evolucionado a través de muchas etapas intermedias: (1) en el linaje de *Hyracotherium* a *Mesohippus*, hubo una tendencia progresiva hacia un aumento del tamaño corporal y de la longitud de las patas, además de una reducción del cuarto dedo de las patas delanteras; (2) en el linaje de *Mesohippus-Parahippus*, desarrolló patas más largas, los dedos laterales se redujeron un poco y presentaba ciertas modificaciones en la dentición; (3) en la transición de *Parahippus* a *Merychippus*, se refleja un cambio de ramonear a pastar, debido a un cambio en el hábitat del grupo, que pasó a ser la pradera; (4) *Merychippus* caminaba ya sobre la punta del dedo central, como los caballos modernos, y todos sus descendientes retuvieron tres dedos, excepto los del linaje del cual evolucionó *Equus*, en el que los dedos laterales se hicieron vestigiales, el dedo central y su pezuña se alargaron y el tamaño corporal incrementó.

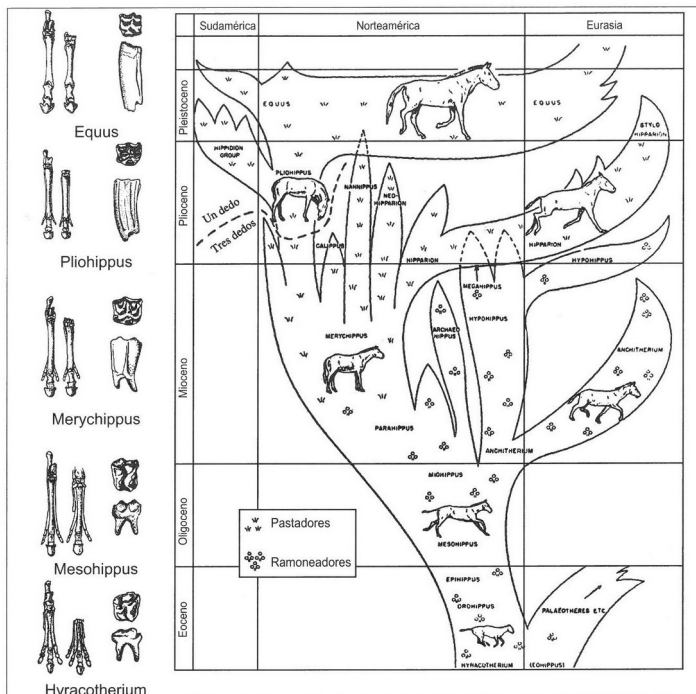


Figura 1. Relaciones evolutivas de los géneros pertenecientes a la familia Equidae. Extraída de [6].

EJEMPLO 2: El miembro pentadáctilo de los tetrápodos [6].

«Si estudiamos el miembro pentadáctilo de los tetrápodos (véase Figura 2)[...], vemos que no existe una razón clara ni funcional ni ambiental de por qué deban presentar cinco dedos; ni tampoco de que el brazo esté formado por un hueso único y el antebrazo de dos huesos (lo que en conjunto se llama miembro quiridio). Todos ellos, ya vivan en ambientes terrestres como acuáticos, caminen, naden o vuelen, presentan un patrón estructural basado en un miembro con cinco dedos, aunque durante el desarrollo puedan perder varios dedos. Si a un ingeniero se le encargara diseñar estructuras para realizar funciones tan diferentes como nadar o caminar no habría usado los mismos materiales ni el mismo plan estructural; lo habría hecho mejor.»

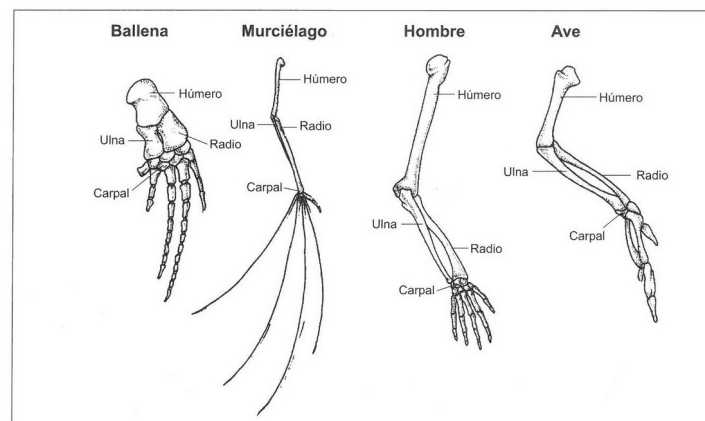


Figura 2. Plan básico de los huesos de las extremidades anteriores de algunos tetrápodos. Extraída de [6].

EJEMPLO 3: Órganos vestigiales en la serpiente y la ballena [6].

«Existen algunos miembros de los tetrápodos que han perdido las extremidades. Son, por ejemplo, las ballenas modernas, que no poseen las extremidades posteriores, o las serpientes, que han perdido ambas. Sin embargo, si observamos la estructura ósea en ambos grupos de organismos, a la altura de la columna vertebral, donde deberían situarse los miembros posteriores, encontramos un conjunto de huesos claramente homólogos con los de la pelvis de cualquier otro tetrápodo. Son estructuras vestigiales (porque no se utilizan para que se articulen con ellos los miembros posteriores, que sería su función original) cuya retención sugiere que tanto ballenas como serpientes han evolucionado de los tetrápodos en lugar de ser creados independientemente».

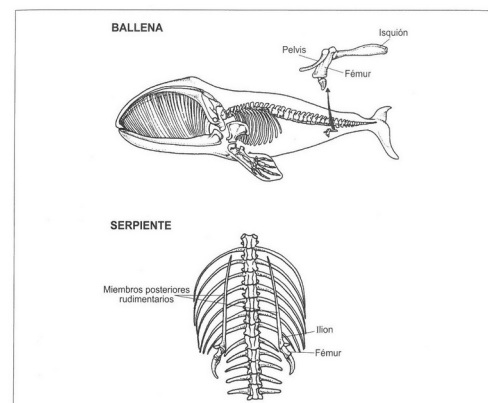


Figura 3. Vestigios de huesos homólogos a los miembros posteriores de otros tetrápodos en ballenas y serpientes. Extraída de [6].

EJEMPLO 4: Las formas de *Biston betularia* [6].

«Uno de los ejemplos más citados en la bibliografía es el caso del melanismo industrial en los lepidópteros y, más concretamente, el caso de *Biston betularia*, la geométrica del abedul. La forma *typica* de esta especie (fondo blanco con jaspeado en negro) es la forma común en los bosques caducifolios a principios del siglo XIX y su coloración le permitía camuflarse con los líquenes de las cortezas de los abedules. Con la revolución industrial en Inglaterra, la forma negra aumentó su frecuencia (hasta un 90%) debido a que estaba mejor camuflada en las cortezas de los árboles, que ahora estaban ennegrecidas y habían perdido la corteza de líquenes. Hasta 1848, que se detectó por primera vez la forma *carbonaria* de esta especie, las mariposas con mutación melánica asociada a los efectos de la contaminación industrial estaban prácticamente ausentes de las colecciones entomológicas y citas bibliográficas.

EJEMPLO 5: Evolución de las diatomeas [18].

Las diatomeas son organismos unicelulares fotosintéticos que forman parte del plancton y desarrollan paredes celulares silíceas que se preservan fácilmente como fósiles. En la imagen se nos muestra el registro fósil de la diatomea *Rhizosolenia* entre hace 3,3 y 1,7 m.a.. Aproximadamente hace 3 m.a., una especie ancestral se dividió en dos y hay un registro suficientemente representativo para probar el cambio en el momento de la división (véase Figura 4).

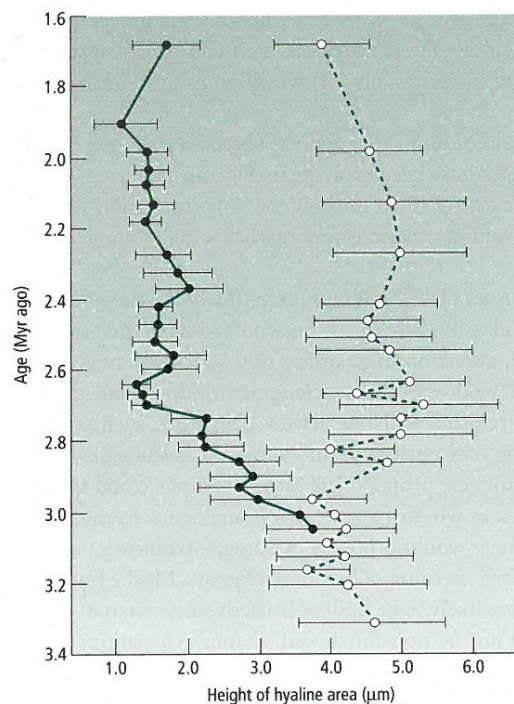


Figura 4. Evolución de la diatomea *Rhizosolenia*. Extraída de [18].

EJEMPLO 6: Especiación por hibridación en *Galeopsis tetrahit* [18].

El método más ilustrativo que muestra cómo las especies pueden originarse por hibridación de forma natural, es recreando el proceso partiendo de los supuestos ancestros, hibridándolos experimentalmente. Esto se realizó por primera vez para una hierba común en Europa, *Galeopsis tetrahit* (poliploide), que Müntzing en 1930 consiguió crear por hibridación con *G. pubescens* (diploide) y *G. speciosa* (diploide). Los individuos generados artificialmente podrían reproducirse con los miembros naturales de la especie. Demostrando que es posible crear especies nuevas y demostrar que el proceso ha sido importante en el origen de nuevas especies naturales.

EJEMPLO 7: Círculo de razas de las gaviotas sombría (*Larus fuscus*) y argéntea (*L. argentatus*) [6].

«Uno de los ejemplos más conocidos de este fenómeno de distribución geográfica en forma de anillo es el caso de las gaviotas sombría (*Larus fuscus*) y argéntea (*L. argentatus*)(véase Figura 5). En Europa noroccidental estas dos especies son perfectamente distinguibles [...], apenas presentan híbridos y escogen zonas diferentes para nidificar. Sin embargo, a lo largo de las costas que rodean el océano Ártico tiene lugar una sucesión de razas con una variación paulatina en sus caracteres que hacen imposible establecer los límites para distinguir entre una y otra especie. Las gaviotas argénteas presentes en América del Norte son muy parecidas a las europeas; sin embargo, si continuamos al rededor del Polo hacia Asia, el parecido con la argéntea decrece o aumenta el parecido con la gaviota sombría europea. Entre Siberia y Europa la coloración de la gaviota cambia gradualmente hasta denominarse sombría. En la mayoría del círculo de distribución hay sólo una especie, pero se distinguen dos donde los extremos del círculo se cierran.»

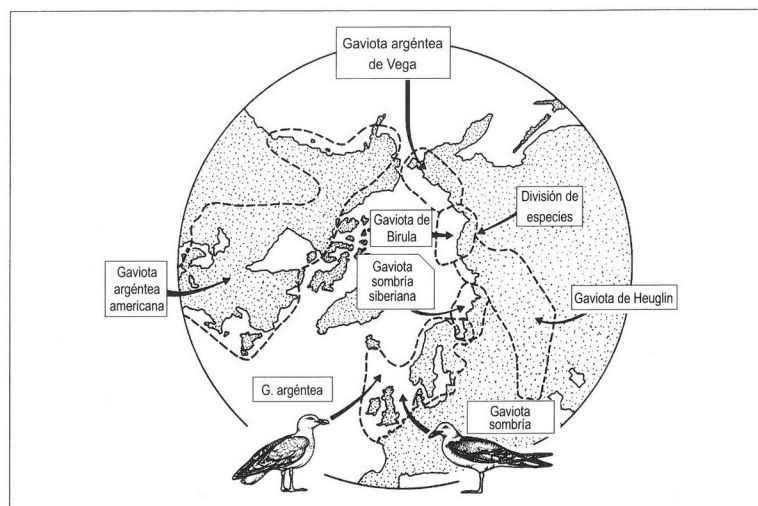


Figura 5. Círculo de razas de las gaviotas sombría (*Larus fuscus*) y europea (*L. argentatus*). Extraída de [6].

ANEXO III

CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS DE EVALUACIÓN ESCRITAS

Elementos de la prueba de evaluación inicial. La prueba de evaluación inicial está ideada con una triple función y, por ello, debe contar con una serie de elementos:

- Función **estadística**: queremos poder comparar los resultados del alumnado antes y después de la realización de la UD con las bases de datos existentes sobre conocimiento de la TE. Así que incluiremos en la prueba inicial las 10 preguntas del test KEE (*Knowledge of Evolution Exam*)[45], utilizado frecuentemente en este tipo de estudios [8].
- Función **diagnóstica**: queremos saber si debemos adaptar o no el nivel de nuestra UD antes de llevarla a cabo, dado que está diseñada suponiendo que el alumnado ha superado los objetivos del bachillerato sobre la E. Es decir, que sabe: diferenciar distintas evidencias del proceso evolutivo, reconocer, diferenciar y distinguir los principios de la teoría darwinista y neodarwinista, relacionar genotipo y frecuencias génicas con la genética de poblaciones y su influencia en la E, reconocer la importancia de la mutación y la recombinación, analizar los factores que incrementan la biodiversidad y su influencia en el proceso de especiación. Por ello, deberemos incluir preguntas que prueben estos conocimientos.
- Función **sumativa**: incluiremos alguna pregunta del examen final que sea relativa a conceptos esenciales de la UD, como el concepto de E o sobre alguna de las TTE más relevantes. Así, aunque sepamos que la respuesta a esta pregunta no será del todo acertada, podremos evaluar el progreso de cada alumno/a, comparando sus respuestas antes y después de la UD.

Elementos de la prueba de evaluación final. Por su parte, esta prueba tiene dos funciones:

- Función **estadística**: repetiremos el test KEE [45] para poder comparar el progreso de los/as alumnos/as con respecto a las bases de datos.
- Función **sumativa**: aquí incluiremos preguntas que revelen que el alumnado ha alcanzado los objetivos didácticos de la unidad. Les pediremos, por tanto (los números entre paréntesis se corresponden con los objetivos didácticos de la Tabla 2): que analicen ejemplos de observaciones desde la perspectiva evolutiva (6), que definan el concepto de E (1), que relacionen nombres de autores/as con sus obras, hipótesis o épocas (4), que ordenen cronológicamente ideas, autores u obras (5) y que justifiquen por escrito la veracidad de la E (2). No pediremos que analicen críticamente textos sobre E (7) o que demuestren valorar la diversidad en sentido amplio (3), puesto que estos objetivos ya han sido evaluados con otros instrumentos.

ANEXO IV

TEXTOS SOBRE EVOLUCIÓN PARA COMENTAR CRÍTICAMENTE

TEXTO 1: Fragmento de «Evolución» de Juan Manuel de Prada, en XLSemanal (2021).

Viendo que los fósiles no brindaban apoyo suficiente a sus teorías, el evolucionismo recurrió al estudio de las semejanzas moleculares entre los seres vivos. Pero el estudio de las secuencias de aminoácidos de la globina de diversas especies no permite establecer taxativamente una ‘secuencia evolutiva’ que las relacione. Y tampoco las mutaciones genéticas confirman plenamente las tesis evolucionistas, pues toda mutación azarosa tiende por lo común a deteriorar el código genético, no a mejorarlo. Las mutaciones ‘favorables’, en el estricto sentido de la palabra, sólo se dan una entre un millón [...]. Pero aun en el caso de que se hayan dado mutaciones ‘favorables’, estas no bastan para producir una nueva especie; para ello, son precisas ‘transmutaciones’ del organismo que sólo pueden lograrse en laboratorio. O sea... mediante la intervención de una inteligencia que las provoque y encauce.

TEXTO 2: Fragmento de «Evolución» de Juan Manuel de Prada, en XLSemanal (2021).

Y es que el organismo de un ser vivo es un conjunto infinitamente complejo de estructuras integradas e interrelacionadas entre sí que funcionan como un todo, con vistas a un fin; y que, por lo tanto, no puede cambiar por partes. Por consiguiente, para que un cambio significativo en una estructura o en una función sea viable, tiene que cambiar simultáneamente todo el organismo; y, para que esto ocurra, tendría que cambiar toda la información hereditaria, de forma simultánea y sin un solo error. Es decir, debería ocurrir una mutación gigantesca, un reordenamiento radical de todo el genoma, dirigido y especificado hasta en los más mínimos detalles. Lo cual constituye un verdadero milagro... que es precisamente lo que el evolucionismo trata de negar.

TEXTO 3: Fragmento de «Evolución» de Juan Manuel de Prada, en XLSemanal (2021).

Pecaríamos de ingenuidad si pensásemos que el evolucionismo es tan sólo una hipótesis científica. El evolucionismo es, sobre todo, un postulado filosófico materialista cuyo objetivo último es negar no la narración literal de los primeros capítulos del Génesis (algo que ya San Agustín nos advirtió que no debía hacerse), sino la intervención divina en la creación de la vida. La Evolución, con mayúscula, se convierte así en la responsable única de toda la historia del universo, una fuerza ciega y mecánica que estaría cambiando constantemente el mundo y dirigiéndolo hacia algo diferente y mejor. He aquí la idea que subyace detrás de las bellas historias de dinosaurios mutantes que tanto nos encandilan.

TEXTO 4: Extracto de *Physicae Auscultationes* de Aristóteles (s.IV a.C.).

De igual modo, ¿qué impide a las diferentes partes del cuerpo tener esta relación puramente accidental en su naturaleza?, cómo los dientes, por ejemplo, crecen por necesidad los de delante afilados, adecuados para cortar, y las muelas, planas y útiles para masticar la comida, pues no fueron hechos con este fin, sino que esto fue

resultado accidental y, como ocurre a las otras partes en las que parece existir una adaptación a un fin. Por consiguiente, dondequiera que todas las cosas juntas -esto es, todas las partes de un todo- ocurrieron como si estuviesen hechas con el fin de algo, éstas se conservaron por haber sido adecuadamente constituidas por una espontaneidad interna, y cualesquiera cosas que no fueron constituidas así perecieron y perecen siempre.

TEXTO 5: Fragmento de «Historia de las Teorías Evolutivas» de Juan Moreno Klemming, en *Evolución: la base de la Biología* de Manuel Soler (2003).

Por último, están las objeciones clásicas sobre la imposibilidad del desarrollo gradual de nuevas estructuras u órganos (el argumento ya clásico de un cuarto de ojo o media ala no sirven para nada, o el «todo o nada» en evolución). Parece imposible convencer a algunos de estos críticos con evidencias de que un indicio de ojo puede servir para percibir sombras y formas, lo que es sin duda mejor que nada o que alas imperfectas pueden servir para planear entre árboles o escapar rápidamente a un depredador torpe.

TEXTO 6: Extracto de 36, de Nieves Delgado (2017).

-Hola Marta ¿Puedo pasar?

Marta Lund, la primera IA [inteligencia artificial] de la historia que iba a ser desactivada por humanos, se levantó para recibir a su visita [...].

- ¿Tú crees que si Cronos hubiera sido humano, lo hubieran condenado a muerte?

- Joder, Marta... No, claro que no.

- Bien. Pues entonces me vais a matar por ser una IA. Los demás argumentos sobran.

- Vale. Pero el caso es que tú sabías que esto podía pasar, podrías haberlo evitado si no fueras tan jodidamente cabezota. Y no lo has hecho, Marta. ¿Qué clase de ser eres que no defiende su supervivencia?

- Uno que no tiene un interés especial por sobrevivir.

- Pero... ¿qué mierda de respuesta es esa?

- Relájate, Diana. De verdad que no pasa nada. Puede que, de hecho, esto os sirva para reflexionar como especie. [...] Tal vez la evolución no significa lo que creéis que significa.

TEXTO 7: Fragmento de «Obituario. Recordando a Pere Alberch, biólogo evolutivo», de Miquel De Renzi en el *Boletín de la Sociedad Española de Paleontología* (1998).

Hoy día se ven las cosas de muy distinta manera, pero el interés por la relación entre desarrollo y paleontología evolutiva se mantiene [...] Ahora bien, el tema no estaba de moda en el campo neodarwinista [...]. Fue el paleontólogo S.J. Gould, con su *Ontogeny and Phylogeny* de 1977, el que retomó la cuestión de la heterocronía [...]. Es aquí donde entra Pere Alberch, a la edad de 25 años [...], plantea una descripción cuantitativa de la misma, fundada en el concepto de ley de crecimiento de las variables asociadas a las distintas estructuras morfológicas del organismo en desarrollo, que resumirían su tamaño y su forma [...]. Si atendemos al tipo de concepción que presidía su manera de concebir la biología, la podríamos calificar de no reduccionista. Las posturas mecanicistas groseras brillaban por su ausencia en su trabajo. Su actitud era netamente sistemista. Había

reconocido el carácter no lineal del sistema en desarrollo [...], la responsable de los cambios de dinámica discontinuos cuando se modifican de manera continua los parámetros del sistema.

TEXTO 9: Fragmento de «Evolutionary biology today and the call for an extended synthesis», de Douglas J. Futuyma en *Interface Focus* (2017).

La teoría evolutiva ha sido ampliada casi continuamente desde la síntesis evolutiva pero, salvo por la gran importancia otorgada a la deriva génica, los principios de la síntesis evolutiva han sido confirmados vehementemente [...]. La «construcción del nicho» es una nueva etiqueta bajo la que se colocan una amplia variedad de fenómenos ya bien conocidos, muchos de los cuales han sido estudiados en profundidad [...]. No existen razones para considerarlo un «proceso» ninguneado de la evolución. La proposición de que la plasticidad fenotípica puede generar nuevas adaptaciones fenotípicas que sean más tarde asimiladas o acomodadas genéticamente es teóricamente plausible [...]. La unión de la teoría de la genética de poblaciones con una comprensión mecanicista de los procesos del desarrollo nos permite una comprensión mayor uniendo las causas últimas y próximas, sin embargo, el producto no reemplaza ni invalida al productor [...]. En muchas de estas áreas, es necesaria la evidencia empírica para evaluar la especulación entusiasta. La teoría de la evolución continuará siendo extendida, pero no hay ningún indicio de que requiera enmiendas.

TEXTO 10: Fragmento de «A New Factor in Evolution», de James M. Baldwin en *American Naturalist* (1896).

Pero estas dos vías de influencia hereditaria [la herencia cultural y la biológica] no son completamente estancas o no-influentes entre sí. Por una parte, las variaciones congénitas se hacen efectivas y se mantienen a lo largo de las generaciones gracias a su uso consciente para generar adaptaciones inteligentes e imitativas durante la vida del individuo; y por otra parte, las adaptaciones inteligentes e imitativas terminan por ser congénitas mediante posterior progreso y refinamiento de las variaciones [...]. Esto abre una nueva esfera para la aplicación del principio negativo de la selección natural en los organismos, *i.e.*, sobre qué es lo que éstos pueden hacer, antes que sobre qué es lo que éstos son [...]. El uso que hacen de las funciones congénitas, en lugar de su mera posesión.

ANEXO V

GUÍA PARA COMENTAR TEXTOS SOBRE EVOLUCIÓN CRÍTICAMENTE

En esta guía se sugiere un proceso que seguir para redactar breves comentarios críticos (**200 palabras aproximadamente**) a partir de fragmentos o textos (científicos o no) que versen sobre el tema de la evolución biológica. Los siguientes pasos habrá que seguirlos tras una **lectura atenta del texto** en la que se identifiquen sus elementos (autor, fuente, fecha, etc.) y su contenido (el tema, las ideas principales, la corriente de pensamiento en la que se puede enmarcar, etc.).

1° Resume en una frase el autor, la fuente, el tipo de texto, la época y el tema del texto.

Ej.: *En este fragmento de un artículo científico publicado en la revista American Naturalist en el año 1896, James M. Baldwin reflexiona sobre la idea de lo que ahora conocemos como herencia inclusiva.*

2° Ubica las ideas del texto dentro de un tipo de teorías evolutivas, de una corriente o una etapa en la historia de las mismas.

Ej.: *Aunque el artículo fue escrito a finales del siglo XIX, a la luz -suponemos- de la teoría de la evolución de Darwin, podemos decir que defiende unas tesis cercanas a un debate mucho más actual: el de la importancia de la plasticidad fenotípica y la herencia cultural en la evolución.*

3° Da tu opinión, argumentada y resumida sobre el texto, haciendo alusión a éste y empleando ejemplos o ideas provenientes de otras obras si fuera necesario.

Ej.: *El autor defiende acertadamente la idea de que la selección natural no actúa sobre el genotipo, sino sobre el fenotipo; sin embargo, parece un tanto arriesgado para la época defender también la posibilidad de una asimilación en el genotipo de variaciones adaptativas del fenotipo posibilitadas por la plasticidad fenotípica; dado que este tema, tratado por Mary West-Eberhard más recientemente, continua siendo controvertido. Personalmente, considero plausible esta hipótesis, al menos en teoría, tal vez próximamente se hallen evidencias empíricas que nos ayuden a incorporarla a la teoría de la evolución actual.*

ANEXO VI

CITAS Y OBSERVACIONES PARA MOTIVAR EL DEBATE

CITA 1: Inger Andersen (directora ejecutiva del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

«Con la COVID-19, el planeta ha enviado su mayor alerta hasta la fecha indicando que la humanidad debe cambiar.»

CITA 2: Artículo 2 de la Declaración de los Derechos Humanos, Naciones Unidas.

Toda persona tiene todos los derechos y libertades proclamados en esta Declaración, sin distinción alguna de raza, color, sexo, idioma, religión, opinión política o de cualquier otra índole, origen nacional o social, posición económica, nacimiento o cualquier otra condición. Además, no se hará distinción alguna fundada en la condición política, jurídica o internacional del país o territorio de cuya jurisdicción dependa una persona, tanto si se trata de un país independiente, como de un territorio bajo administración fiduciaria, no autónomo o sometido a cualquier otra limitación de soberanía.

CITA 3: Juan José Soler (biólogo evolutivo).

«La aplicación de la teoría evolutiva al estudio y al tratamiento de enfermedades es una línea de investigación que ha dado lugar a la medicina evolutiva y constituye un nuevo punto de vista desde el que estudiar las enfermedades y poder luchar contra ellas. Son muchas las razones por las que los médicos deberían tener en cuenta este enfoque evolutivo.»

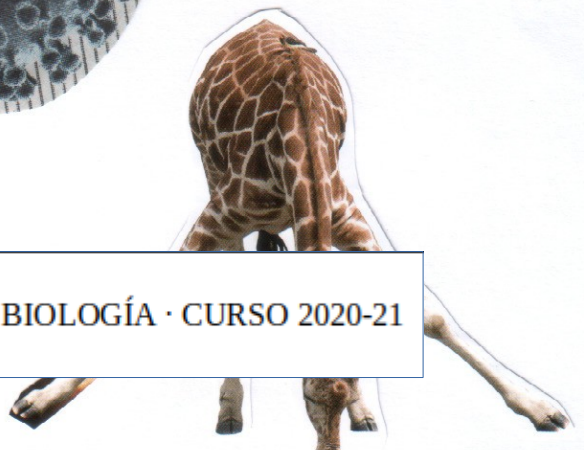
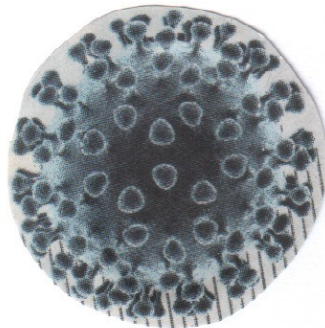
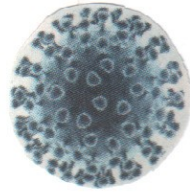
CITA 4: Fernando Valladares (biólogo).

«La biodiversidad nos protege de pandemias.»

CITA 5: Lynn Margulis (bióloga evolutiva).

«Siempre estamos ligados de una u otra manera al resto.»

E



TRABAJO FIN DE GRADO · GRADO EN BIOLOGÍA · CURSO 2020-21