



Nombre	Fecha	Curso 1° Medio	
--------	-------	-------------------	--

INTRODUCCIÓN:

El estudio de los vestigios que han dejado especies que habitaron la Tierra millones de años atrás ha permitido, junto con los avances científicos y tecnológicos, comprender de mejor manera cómo ha ido evolucionando la vida en el planeta.

En esta guía se estudiarán las evidencias que han permitido validar el concepto de evolución de los seres vivos.

Objetivos de Aprendizaje:

- Comparar la anatomía, morfología e información molecular de los organismos para determinar los niveles de parentescos.

2.2 ANATOMÍA COMPARADA

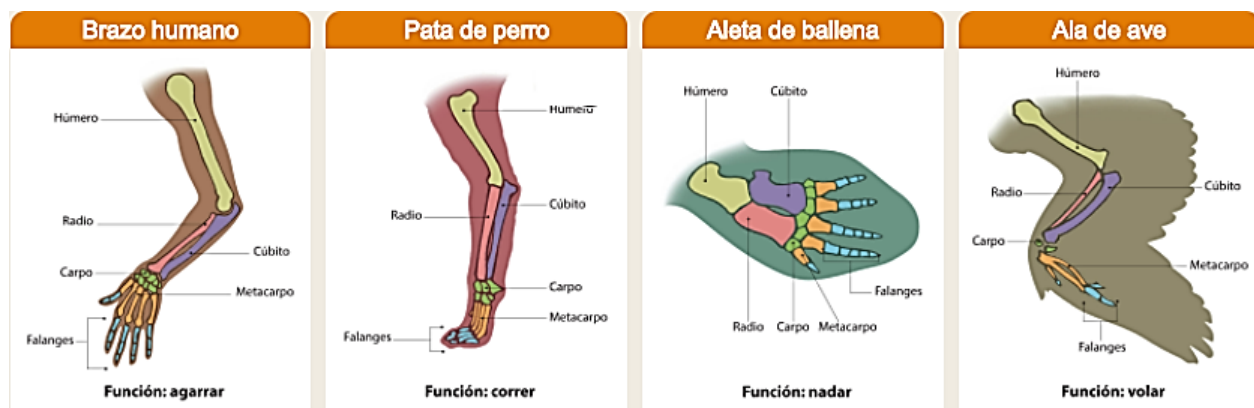
Los fósiles constituyen una representación del pasado de los organismos. A partir de ellos se pueden realizar comparaciones entre las anatomías de los organismos del pasado y la de los actuales. Con ello se ha obtenido información sobre las transformaciones de algunas estructuras en su forma y función. Por lo tanto, la anatomía comparada realiza estudios comparativos de los órganos y otras estructuras de distintas especies para evidenciar la evolución de los mismos.

La anatomía comparada permite deducir el nivel de parentesco de las especies, pues si comparten las mismas estructuras morfológicas se deduce que poseen un ancestro en común, aunque dichas estructuras hayan aparecido como adaptación a nuevos entornos.

Las evidencias de la anatomía comparada surgen por la comparación de las estructuras de los organismos, las que se han clasificado según sus orígenes evolutivos en estructuras homólogas, estructuras análogas y estructuras vestigiales.

- **Estructuras homólogas.** Son aquellas que tienen la misma estructura interna, aunque su forma externa y función sean diferentes. Son estructuras heredadas de un ancestro común y la posterior adaptación a distintos ambientes provocó diferencias entre ellas.

A continuación, se muestra la comparación de los huesos de las extremidades de algunos animales. Un brazo humano, una extremidad anterior de un perro, una aleta delantera de ballena y un ala de ave. Aunque son bastante diferentes en apariencia, tienen estructuras sorprendentemente similares de los huesos, músculos y nervios.



En la imagen, los colores indican las estructuras similares. Cada uno de los animales representados tiene un hueso llamado húmero en la parte de la extremidad más próxima al tronco del cuerpo, seguido de los huesos cúbito y radio del antebrazo, un grupo de huesos (huesos del carpo) en la muñeca, y un número variable de dedos (metacarpianos y las falanges). Esta similitud es particularmente sorprendente porque los brazos, extremidades anteriores, aletas y las alas se utilizan para diferentes tipos de locomoción y no hay una razón mecánica para que sean tan similares en su estructura. Las disposiciones similares de las estructuras de la

extremidad anterior son evidentes en las aves ancestrales, reptiles y anfibios e incluso los primeros peces que salieron del agua cientos de millones de años atrás, lo que implica que hay un parentesco entre ellos.

- **Estructuras análogas.** Son aquellas que poseen la misma función en distintos organismos, pero diferente organización interna y no descienden de un antepasado común. A estas características también se les denomina homoplásicas. Por ejemplo, al comparar el ala de un murciélago con la de un insecto, si bien ambas estructuras cumplen la misma función, “volar”, los órganos que permiten dicho movimiento son, en su origen y estructura, muy distintos entre sí.



► Comparación de ala de ave, de murciélago y de insecto. El ave y el murciélago comparten estructuras óseas (estructuras homólogas). En cambio, el murciélago y el insecto no comparten estructuras que provengan de un origen evolutivo en común. El ala de insecto se compone de estructuras venosas, a diferencia del murciélago y del ave.

- **Estructuras vestigiales.** Son aquellas cuya labor se ha ido perdiendo a lo largo de la evolución. Son estructuras que tuvieron una función destacada en especies anteriores hoy desaparecidas, pero que en los organismos actuales se encuentran reducidas o en desuso. Por ejemplo, los antepasados de las ballenas y de las boas constrictoras eran terrestres y poseían estructuras óseas como el isquión, hueso de la cadera que permitía la movilización de estas criaturas; sin embargo, en la actualidad estas especies no necesitan de estas estructuras óseas y, por lo tanto, lo cargan como una especie de “accesorio evolutivo”.



► Los órganos vestigiales son una prueba de la evolución de las especies. En las ballenas y en las serpientes existen estructuras similares a las patas de las salamandras; no obstante, no tienen función alguna en las especies actuales.

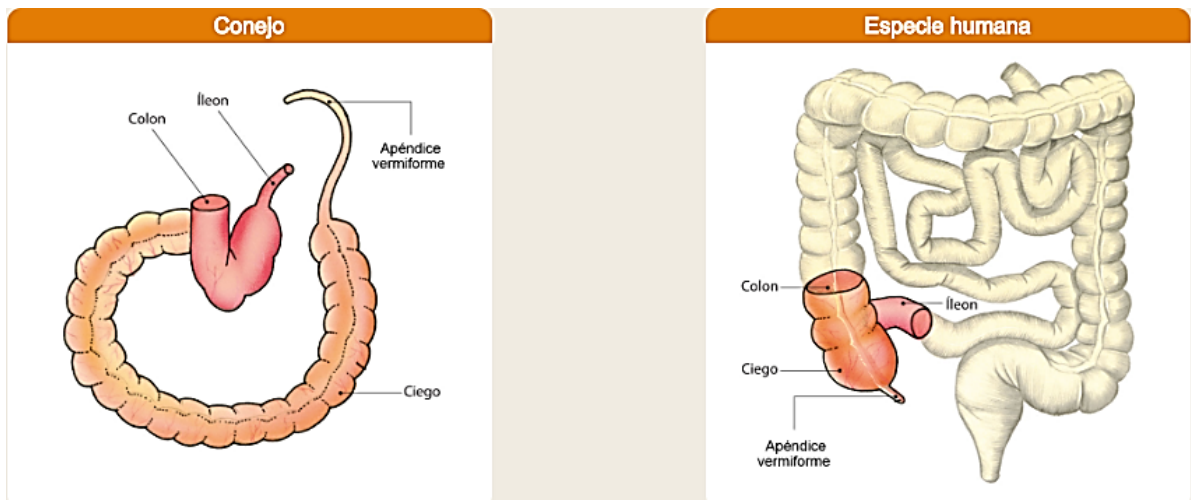
La presencia ocasional de una estructura vestigial refleja cómo las especies se han adaptado a nuevos entornos y condiciones ambientales que las han hecho prescindir de ese órgano. Cuando una estructura ya no confiere una ventaja selectiva, puede llegar a ser más pequeña y perder gran parte o la totalidad de su función con el pasar del tiempo. La presencia de la estructura vestigial no es perjudicial para el organismo.

En el cuerpo humano, numerosas estructuras se consideran vestigiales, dentro de las cuales se encuentran los terceros molares, más conocidos como las muelas del juicio, y el apéndice.

Las muelas del juicio eran útiles porque permitía una mejor masticación cuando el ancestro del hombre actual consumía grandes cantidades de vegetales.

Otro ejemplo es el apéndice, versión reducida del ciego. Es un órgano que se encuentra en los seres humanos y en otros vertebrados. En mamíferos herbívoros se desarrolló por completo y en su interior contiene bacterias que permite la digestión de la celulosa (estructura vegetal); no obstante, en la actualidad el ser humano no es capaz de digerirla.

Esto ha causado controversia en la comunidad científica, ya que muchos investigadores creen que el apéndice es un órgano vestigial porque los ancestros de los seres humanos se alimentaban de follajes y vegetales, mientras que otros argumentan que el apéndice solo tiene una función en el sistema inmune y no se relaciona con un factor evolutivo.



► Representación esquemática de los tubos digestivos de conejo y hombre. Se observan las diferencias de los tamaños de los respectivos ciegos y apéndices.

2.3 BIOGEOGRAFÍA

Los registros y descripciones de especies que realizaron los naturalistas en diferentes partes del mundo mostraron que la diversidad de especies superaba lo conocido, pero que además presentaba una distribución geográfica difícil de explicar. Esto motivó el surgimiento de la **biogeografía**, una disciplina que estudia la distribución geográfica de las especies y las causas que originan dicha distribución.

Los organismos que habitan juntos en una determinada área evolucionan de manera similar, pero cuando ciertas poblaciones quedan aisladas tienden a evolucionar hacia formas diferentes. Por ejemplo, existen especies de monos tanto en América del Sur como en Asia y África que son muy semejantes entre sí, aunque cada uno de estos continentes posee especies diferentes. Por lo tanto, se deduce que los monos de estos continentes con alta similitud provenían de un ancestro en común y que de alguna forma las poblaciones quedaron aisladas y evolucionaron de manera independiente.

Para explicar el origen de un ancestro en común en los monos se debe relacionar la ocurrencia de fenómenos geológicos en el pasado como el desplazamiento de los continentes que tuvo lugar hace 200 millones de años. La teoría que explica este desplazamiento es conocida como **teoría de la deriva continental** y esta describe la fragmentación de la Pangea, lo que implica el desplazamiento de los continentes y de distintas formas de vida. Esta separación de los organismos provocó un aislamiento de estas especies, por lo que se favoreció su evolución y su adaptación a diferentes condiciones de vida.

Algunos hechos observables de este tipo eran difíciles de explicar en su momento y motivaron el estudio de la biogeografía para fundamentar la biodiversidad.

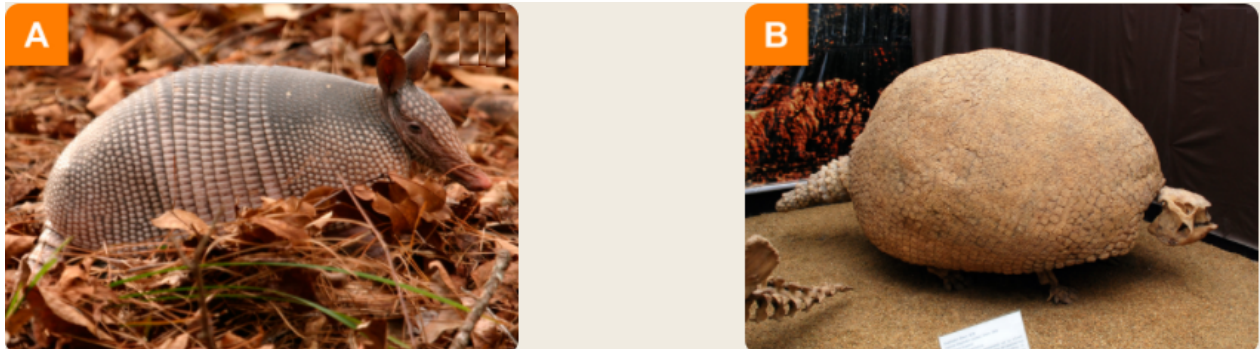
Un ejemplo es lo que ocurre en una de las islas del archipiélago de Galápagos donde hay una especie de iguana de mar que no se encuentra en ningún otro sitio en el mundo, aunque su alimento, las algas, sea muy abundante en otras costas. Este hecho no solo ocurre en las islas oceánicas y con especies terrestres, sino también en algunos lagos en los que se han hallado especies únicas de peces.



► La iguana de mar es una especie endémica de las islas Galápagos. Están distribuidas en 10 de las 14 islas del archipiélago.

Otro caso particular ocurre con las aves, que pueden desplazarse a sitios donde otros organismos no pueden llegar. En las islas oceánicas, las aves son los primeros animales que pueden acceder y habitar en ellas. Sin embargo, cuando se comparan las especies de aves (avifauna) de dos islas tropicales con ambientes similares, una en el océano Atlántico y otra en el océano Pacífico, se comprueba que difieren por completo, aunque en cada una de estas islas las aves poseen cierta similitud con las de la costa más cercana al continente.

Otro hecho observable y difícil de explicar era la similitud que existe entre las especies actuales y los fósiles de una misma zona. Por ejemplo, los fósiles de las especies animales de América del Sur de hace un millón de años muestran un gran parecido con las especies actuales, pero no con los fósiles de la misma época en Europa o África.



► El naturalista Chales Darwin concluyó que el armadillo (*Dasypus hybridus*) (A) y el armadillo gigante o gliptodonte (B), especie actualmente extinta, estaban emparentados. El gliptodonte habitó en la misma zona geográfica de Sudamérica hace miles de años antes que el armadillo.

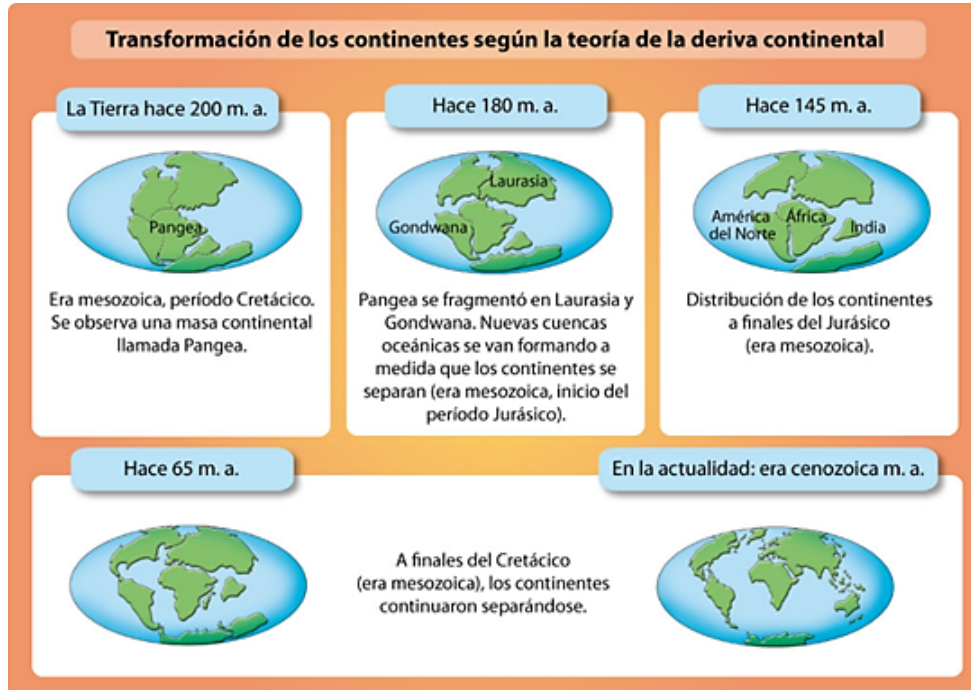
La dinámica geológica explicaría la distribución de las especies en la Tierra y la presencia de un ancestro común. En 1915, el científico alemán Alfred Wegener propuso la primera evidencia: todas las masas de tierra en algún tiempo en el pasado estaban unidas en un enorme supercontinente al que llamó Pangea.

Wegener planteó que esta gran masa se habría fragmentado en continentes más pequeños y se había separado en un proceso conocido como la deriva continental. Una evidencia que apoyaría esta teoría era la paleontológica. Por ejemplo, la existencia de un dinosaurio (tetrápodos) en todos los continentes durante el Triásico es una indicación de que había conexiones terrestres entre las masas continentales.

Según sus estudios geológicos, si los continentes estuvieron unidos en el pasado, las rocas situadas en una región concreta de un continente deben parecerse estrechamente en cuanto a la edad y tipo con las encontradas en posiciones adyacentes del continente con el que encajan.

Finalmente, a través de informaciones climáticas como la aparición de sedimentos glaciares de las mismas edades en el sur de África, Suramérica, India y Australia, dedujo que esta glaciación ocurrida al final del Paleozoico debió afectar a un supercontinente, dada la gran extensión ocupada por el hielo. Como consecuencia, los continentes comenzaron a separarse, las poblaciones quedaron geográficamente aisladas bajo diferentes condiciones ambientales y tomaron caminos evolutivos diferentes.

La siguiente imagen resume la teoría de la deriva continental.



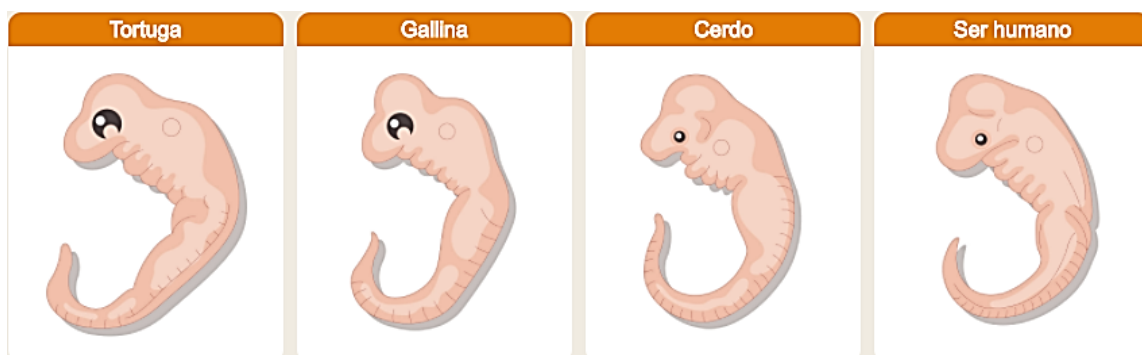
2.4 EMBRIOLOGÍA

La embriología es la ciencia que estudia el desarrollo del embrión y de los tejidos de los organismos vivos. Establecer comparaciones en el desarrollo embrionario de organismos similares ayuda a detectar la existencia de relaciones evolutivas entre estos.

A principios del siglo XIX, el embriólogo alemán Karl von Baer observó que todos los embriones de los vertebrados mostraban un gran parecido entre sí en las primeras etapas de su desarrollo. Por ejemplo, en las fases embrionarias iniciales de peces, aves, ratones y seres humanos se observa la presencia de cola y hendiduras branquiales; sin embargo, cuando prosiguen su desarrollo hasta una edad adulta los peces son los únicos que conservan las branquias, y solo los ratones y peces conservan las colas.

Con el avance de las técnicas moleculares y los conocimientos de herencia y material genético, se evidenció que los procesos de cambio en el desarrollo embrionario son controlados por ciertas regiones del material genético denominadas genes, que activan o inhiben el desarrollo de ciertas estructuras.

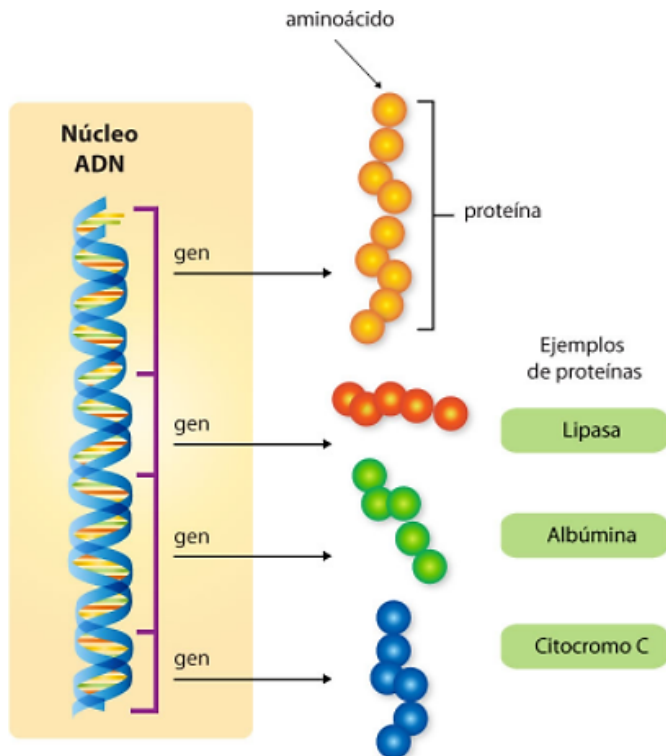
Actualmente se sabe que todos los antepasados vertebrados poseían genes que dirigían el desarrollo de branquias y colas, y por ende todos sus descendientes poseen esos genes. En los peces estos genes permanecen activos durante todo el desarrollo, y el resultado de ello es que los adultos tienen colas y branquias. En los seres humanos, cerdos y pollos estos genes están activos solo durante las etapas iniciales del desarrollo y en etapas posteriores los genes están inactivos, por lo tanto las estructuras se pierden por completo para dar lugar a otro órgano en desarrollo o no son visibles en humanos.



► El parecido entre los embriones de diversas especies de vertebrados es una sólida evidencia de que descienden de un ancestro en común.

La evolución es un proceso conservado, esto quiere decir que existen regiones del material genético que no se modifican porque son fundamentales para el desarrollo de los organismos. Si aparecen nuevos rasgos, estos serán controlados por los genes que se encargan del desarrollo.

2.5 BIOLOGÍA MOLECULAR



Todas las formas de vida poseen en el interior de sus células un material genético que contiene toda la información referida a las características del organismo y que se transmite de generación en generación. La molécula que contiene la información genética de los organismos se denomina **ácido desoxirribonucleico** o **ADN** y se encuentra dentro del núcleo de las células eucariotas, o bien se halla libre en el citoplasma de las células procariotas.

El ADN se organiza en unidades llamadas **genes**. Un gen corresponde a un segmento específico de ADN que contiene la secuencia que codifica la síntesis de una proteína que se encarga de expresar la información contenida en este segmento. Por

ejemplo, el gen del color del cabello se encuentra en un lugar establecido de la molécula de ADN, y a partir de esta secuencia se activará la síntesis de la proteína que determinará su color.

Las proteínas están formadas por una serie de unidades básicas más pequeñas denominadas **aminoácidos**. Al igual que una cadena, los aminoácidos se unen uno tras otro, como eslabones, hasta adoptar su tamaño y forma específica. El orden de la secuencia de los aminoácidos viene dado por el **código genético**, una especie de lenguaje que tiene un gen que indica la secuencia y el largo de una proteína. Cada proteína desempeña una función específica, como facilitar el transporte de ciertas sustancias desde y hacia la célula, regular la expresión de genes y actuar como mecanismo de defensa cuando el organismo es atacado por patógenos, entre otras.

Con el desarrollo de técnicas de investigación que permiten determinar la secuencia de las proteínas y del material genético, los científicos observaron **semejanzas a nivel molecular** entre los organismos. Así, el uso de nuevas técnicas moleculares ha llevado a decodificar gran parte de las secuencias de ADN y de las proteínas. Con esta información ha sido posible generar nuevas hipótesis sobre los mecanismos evolutivos e inferir las relaciones evolutivas de los organismos.

Los investigadores han llevado a cabo miles de comparaciones de secuencias procedentes de diferentes especies durante los últimos años, han propuesto nuevos árboles filogenéticos e incluso nuevas clasificaciones de los seres vivos, como fue el caso de Woese y Cavalier-Smith, quienes analizaron una secuencia específica de proteína presente en los ribosomas de los organismos.

Un ejemplo de las comparaciones de las secuencias de proteína es el estudio del citocromo C, una proteína que se encuentra en las mitocondrias de los organismos eucariotes y que es necesaria para la producción de energía.

Cuando se comparó el citocromo C humano con el del chimpancé no se encontró diferencia alguna en los aminoácidos, en cambio en las ballenas se observó una diferencia de ocho aminoácidos en su estructura. Esta diferencia aumenta si se compara con otros organismos, como las aves (13 aminoácidos diferentes),

los peces (20 aminoácidos diferentes) y los hongos (41 aminoácidos diferentes). Estas disimilitudes reflejaron que el ser humano está más relacionado con los chimpancés que con otros organismos del reino animal.

Organismo	N° de aminoácidos diferentes al ser humano
Chimpancé	0
Ballena	8
Ave	13
Pez	20
Hongo	41

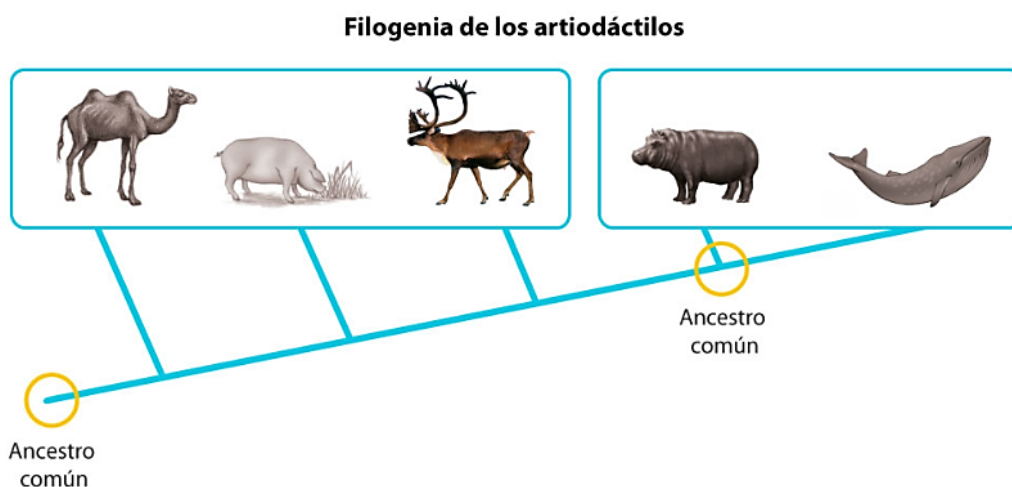
► Tabla que muestra el número de diferencias de aminoácidos de la proteína del citocromo C en seres humanos con algunos organismos del reino animal.

Inicialmente, las filogenias de los seres vivos se construyeron basándose en las comparaciones morfológicas de estos y fueron complementadas con la información entregada por los registros fósiles. Sin embargo, con el desarrollo de la biología molecular y los análisis de la información genética se generó una controversia respecto de la veracidad de algunas filogenias cuando se constató que ciertos organismos no estaban tan cercanamente relacionados como se creía. Un caso representativo de esto es el de la ballena.

Antes de la biología molecular los paleontólogos emplearon la información extraída de los registros fósiles y la presencia de estructuras vestigiales en las ballenas modernas para concluir que estas solían desplazarse en un medio terrestre a diferencia de hoy, que lo hacen en un medio acuático. Los científicos creían que el ancestro directo de las ballenas era un grupo de carnívoros terrestres que se encuentran extintos llamados mesoniquios, cuyos únicos descendientes conocidos en la actualidad serían los cetáceos. Con el desarrollo de las técnicas moleculares se realizaron estudios con el objetivo de corroborar esta información.

Para probar con qué organismos las ballenas poseen mayor parentesco, se hicieron comparaciones de la secuencia de ADN de las ballenas actuales con seres vivos terrestres. Los resultados demostraron que las ballenas tenían un alto porcentaje de similitud en la secuencia de ADN con organismos conocidos como artiodáctilos, lo que generó controversia respecto de la información que se disponía. Los artiodáctilos corresponden a mamíferos que poseen un número par de dedos, terminados en pezuña, en cada extremidad, y cuyos representantes de este grupo son los cerdos, los camélidos, los carneros y los hipopótamos. A partir de esta nueva evidencia se pudo determinar que el hipopótamo sería el artiodáctilo que está más emparentado con la ballena.

A pesar de que las ballenas y los hipopótamos no son morfológicamente similares, estos sí poseen una semejanza a nivel genético que no es posible apreciar a simple vista. Por lo tanto, **la biología molecular entrega nuevas perspectivas sobre la historia evolutiva** de los organismos, aunque no siempre exista evidencia fósil que respalde todos los descubrimientos.



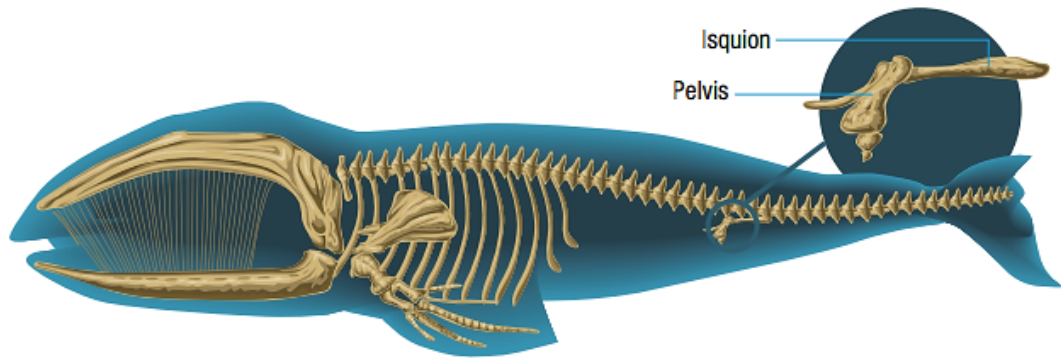
Los artiodáctilos se componen de grupos de camélidos, cerdos, carneros, ballenas e hipopótamos, y se creía que todos compartían un ancestro común. Mediante las técnicas moleculares de secuenciación de ADN se determinó que los camélidos, los cerdos y los carneros están emparentados porque tienen un antepasado común, pero este es distinto al de ballenas e hipopótamos. Sin embargo, las ballenas y los hipopótamos están estrechamente relacionados, por lo tanto ambos poseen un ancestro común. Sin el análisis molecular habría sido imposible emparentar a ballenas e hipopótamos, ya que morfológicamente son diferentes; tampoco era posible deducirlo mediante la información fósil.

ACTIVIDADES PARA EL DESARROLLO DE HABILIDADES

Anatomía comparada

Habilidades: Recordar y describir

1. En el esqueleto de una ballena actual se encuentran dos extremidades óseas (aletas) que son necesarias para su desplazamiento en el océano. Sin embargo, también se hallan huesos como la pelvis e isquion, cuya función es soportar el peso de un organismo cuando está de pie.



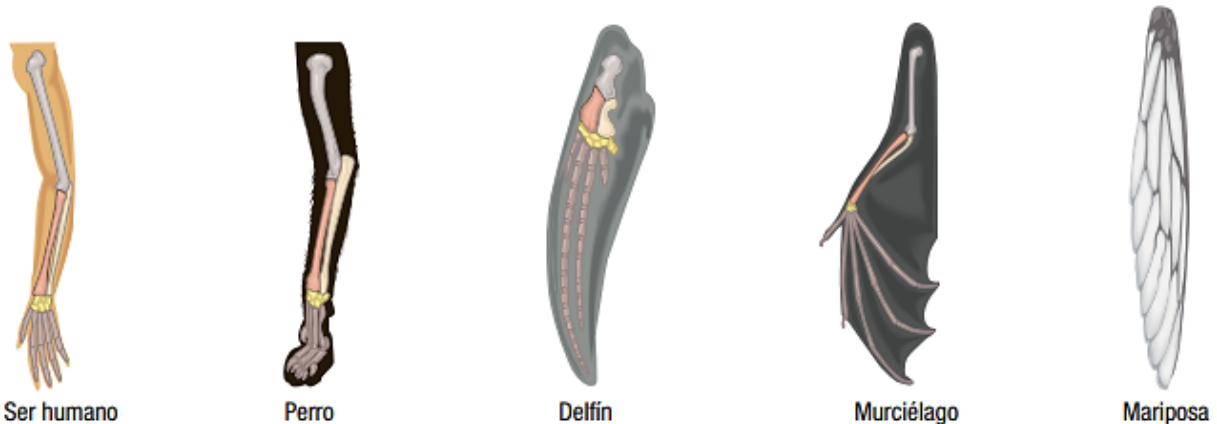
¿Cómo se explica la presencia de pelvis e isquion si este mamífero nada para desplazarse?

R. _____

Anatomía comparada

Habilidades: Comprender y argumentar

2. Observa las siguientes estructuras y responde las preguntas.



a. Las estructuras representadas corresponden a distintos organismos. ¿Qué tienen en común?

R. _____

b. ¿Qué funciones cumplen las estructuras representadas en cada uno de los organismos?

R. _____

c. ¿Se puede decir que la estructura del perro es homóloga a la de la mariposa?, ¿por qué?

R. _____

d. De todos los animales, ¿cuáles tienen estructuras análogas? Justifica.

R. _____















e. Un científico mencionó que los huesos del ser humano y los del delfín son estructuras vestigiales. Argumenta por qué esta posición es errada y menciona dos pruebas de ello.

R. _____

Embriología

Habilidades: Comparar y analizar

3. Observa las siguientes etapas del desarrollo de distintos animales y luego responde las preguntas.

	Pez	Salamandra	Tortuga	Gallina	Conejo	Ser humano
Etapa 1						
Etapa 2						
Etapa 3						

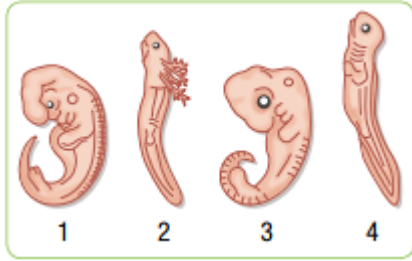
a. De la etapa 1, ¿qué diferencias se aprecian entre el pez, la tortuga y la gallina?

R. _____

b. Observa los embriones de tortuga y del ser humano en sus distintas etapas. ¿Se puede afirmar que tienen un ancestro común? ¿En qué te basas para fundamentar tu respuesta?

R. _____

c. A continuación, se muestran los embriones que faltan de la etapa 2. Asigna cada embrión al organismo correspondiente. Justifica y valida tu elección.



R. _____

d. A partir de tus conocimientos, ¿el desarrollo embrionario constituye una evidencia evolutiva? Fundamenta.

R. _____

Biología molecular

Habilidades: Aplicar y evaluar

4. La secuencia de ADN permite determinar la homología molecular que tienen los organismos. Las secuencias de la siguiente tabla corresponden a una sección de la secuencia de la proteína hemoglobina de distintas especies. Las letras corresponden a las bases nitrogenadas que componen el material genético: adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T).

Secuencia de hemoglobina

Especie	Secuencia de ADN
Ser humano	5' AAACAACATATT 3'
Caballo	5' CGTAAACATAAA 3'
Gorila	5' AAACAACATAAA 3'
Chimpancé	5' AAACAACATATT 3'
Cebra	5' CGTAAACATCGT 3'

Analiza la tabla y responde las preguntas a continuación:

a. Compara las secuencias de ADN de las siguientes parejas y luego anota el número de similitudes que encuentras entre ellas. Indica cuál tiene mayor similitud.

- Caballo-Cebra: _____
- Hombre-Gorila: _____
- Caballo-Chimpancé: _____
- Hombre-Chimpancé: _____
- Caballo-Gorila: _____
- Mayor similitud: _____

b. ¿Qué información entrega la comparación que realizaste en a. respecto de la similitud de las

especies? Justifica tu respuesta.

R. _____

c. A partir de esta actividad y tus conocimientos, ¿cuál es la importancia de la biología molecular?

R. _____

