

Universidad Nacional Autónoma de México

Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Naucalpan

Cuaderno de trabajo para la Asignatura de Biología IV

Responsable:

Roberto López García

Colaboradora:

Valeria Isabel Cuellar Sánchez

Índice

Presentación.....	2
Guía de uso.....	3
Propósitos	4
Aprendizajes.....	5
Estrategias de aprendizaje con sus correspondientes actividades.....	7
Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?	8
Tema I. Principales procesos evolutivos que explican la biodiversidad.....	8
Selección natural y adaptación.	8
Deriva génica.....	13
Tema II. Especie y especiación.	16
Conceptos de especie.....	16
Patrones de cambio evolutivo.....	19
Especiación: concepto y modelos	25
Tema III. Filogenia e historia de vida.....	30
Extinciones y radiación adaptativa.....	30
Árboles filogenéticos.....	34
Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?	42
Tema I. Caracterización de la biodiversidad.	42
Niveles de la biodiversidad.....	42
Patrones de la biodiversidad.....	48
Tipos de diversidad	53
Tema II. Biodiversidad de México.	59
Factores que explican su megadiversidad	59
Regionalización de la biodiversidad	66
Factores que afectan la biodiversidad	70
Uso y conservación de la biodiversidad	73
Importancia de la biodiversidad.....	79
Formas e instrumentos de evaluación	84
Valoración del profesor de los resultados obtenidos	84
Literatura.....	86
Imágenes	90

Presentación

El propósito de la asignatura de Biología IV es profundizar en la cultura biológica del alumnado en lo que respecta a los procesos evolutivos como una continuación de Biología III, en los modelos por los cuales han surgido nuevas especies, para el entendimiento de la biodiversidad, y una mejor comprensión de los factores que afectan a esta última.

Aunque la mayoría del alumnado que elige cursar estas asignaturas se está perfilando para una carrera en las Ciencias Biológicas, para algunos no es sencillo lograr todos los aprendizajes. Cuando esto sucede, recurren a las opciones de acreditación extraordinaria, como el examen extraordinario o el PAE.

Este cuaderno de trabajo tiene como objetivo apoyar tanto al alumnado como al profesorado que están involucrados en el Programa del Apoyo al Egreso para la Asignatura de Biología IV. Esto no excluye que se pueda implementar de manera parcial o total en el curso ordinario de la misma asignatura, o como apoyo de estudio para el examen extraordinario.

Guía de uso

Este cuaderno de trabajo se ha planteado como apoyo al alumnado y al profesorado a cubrir el programa de Biología IV en el marco del Programa del Apoyo al Egreso (PAE), ayudando a las y los alumnos a desarrollar varias habilidades a la vez que se pretende lograr los aprendizajes del programa. Esto no significa que estas actividades sean exclusivamente para PAE, pues se pueden implementar en un curso ordinario si se considera apropiado por quien revisa este material.

La estructura se ha planteado considerando las dos unidades del programa de Biología IV. En cada unidad se encuentran todos los aprendizajes acompañados de la temática y subtemática que le acompañan en el programa, así como de una lectura pertinente a estas últimas. Después de las lecturas se encuentran una o más actividades orientadas a que se logre el aprendizaje mediante el desarrollo de problemas y de investigaciones.

Al inicio de cada aprendizaje se encuentra una breve sugerencia de evaluación. Aquí se toma en cuenta una evaluación diagnóstica en la que se involucra la participación de todos los integrantes del grupo en lluvias de ideas principalmente. También se sugiere una actividad para una evaluación sumativa y de esta manera poder otorgar una calificación al término del curso, o como apoyo para otorgar una. Posterior a las lecturas se recomiendan una o más actividades que pretenden reforzar lo leído, y se sugiere tomar estas actividades a modo de evaluación formativa y con esto dar retroalimentación a los jóvenes sobre su aprendizaje.

Propósitos

El propósito de este cuaderno de trabajo es apoyar la labor docente en el Programa del Apoyo al Egreso (PAE) de Biología IV con materiales que permitan el trabajo individual y colaborativo. Otorgando así una herramienta para apoyar al alumnado y que puedan lograr los aprendizajes y desarrollar las habilidades que se plantean en el Programa de Estudio para Biología IV.

Al ser una materia de 6º semestre, esta herramienta puede ser crucial para algunos alumnos, ya que puede permitirles egresar del bachillerato en el periodo estipulado de tres años. Podrá leer los textos incluidos para poder reconocer y recuperar los aprendizajes que no logró durante el curso ordinario y posterior a las lecturas se presentan actividades de refuerzo. El cuaderno de trabajo también se puede emplear en el curso ordinario.

Aprendizajes

A continuación, se desglosan los aprendizajes que se plantean en el Programa de Estudio para la asignatura de Biología IV.

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema I. Principales procesos evolutivos que explican la biodiversidad

Selección natural y adaptación.

Aprendizaje: Explica los tipos de selección natural y adaptación como procesos evolutivos que modifican las frecuencias alélicas en las poblaciones biológicas.

Deriva génica.

Aprendizaje: Identifica la deriva génica como un proceso aleatorio que cambia la frecuencia de alelos en las poblaciones biológicas

Tema II. Especie y especiación

Conceptos de especie.

Aprendizaje: Compara los conceptos de especie biológica, taxonómica y filogenética, como base del estudio de la biodiversidad.

Patrones de cambio evolutivo.

Aprendizaje: Distingue la anagénesis y cladogénesis como patrones de cambio evolutivo.

Especiación: concepto y modelos.

Aprendizaje: Comprende los modelos de especiación alopátrica, simpátrica e hibridación, que originan la diversidad biológica.

Tema III. Filogenia e historia de vida

Extinciones y radiación adaptativa.

Aprendizaje: Relaciona a las extinciones en masa con la radiación adaptativa.

Árboles filogenéticos.

Aprendizaje: Comprende que los árboles filogenéticos son modelos explicativos de las relaciones temporales entre especies.

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema I. Caracterización de la biodiversidad

Niveles de la biodiversidad.

Aprendizaje: Analiza los niveles genético, ecológico y biogeográfico de la biodiversidad.

Patrones de la biodiversidad.

Aprendizaje: Contrasta los patrones taxonómicos, ecológicos y biogeográficos de la biodiversidad.

Tipos de diversidad.

Aprendizaje: Relaciona los tipos y la medición de la biodiversidad con el concepto de megadiversidad.

Tema II. Biodiversidad de México

Factores que explican su megadiversidad.

Aprendizaje: Comprende los factores que determinan la megadiversidad de México.

Regionalización de la biodiversidad.

Aprendizaje: Explica que en el país la riqueza de especies, la abundancia, la distribución y los endemismos determinan la regionalización de la biodiversidad.

Factores que afectan la biodiversidad.

Aprendizaje: Relaciona los factores naturales y antropogénicos con la pérdida de la biodiversidad.

Uso y conservación de la biodiversidad.

Aprendizaje: Identifica acciones para el uso y conservación *in situ* y *ex situ* de la biodiversidad en México.

Importancia de la biodiversidad.

Aprendizaje: Comprende el valor de la biodiversidad y propone acciones para el mejoramiento de su entorno.

Estrategias de aprendizaje con sus correspondientes actividades

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema I. Principales procesos evolutivos que explican la biodiversidad.

Selección natural y adaptación.

Aprendizaje: Explica los tipos de selección natural y adaptación como procesos evolutivos que modifican las frecuencias alélicas en las poblaciones biológicas.

Sugerencias de evaluación

Para este aprendizaje se sugiere al profesor hacer las siguientes preguntas a los alumnos a modo de evaluación diagnóstica, se recomienda hacer de forma verbal, pero también puede ser de forma escrita: ¿Qué es selección natural? ¿Quién sobrevive a la selección natural? ¿Qué es una adaptación? ¿Qué papel desempeñan las adaptaciones en la selección natural?

Como evaluación formativa se sugiere pedir a los alumnos elegir una especie y listar sus adaptaciones. Posteriormente elegir dos de ellas y que expliquen su surgimiento implementando dos de los tres modelos de selección natural, este proceso dependerá de la imaginación de los alumnos, pues conocer el origen evolutivo de las estructuras puede ser complicado.

Lectura

La evolución por selección natural es una mezcla de azar y selección: azar en el surgimiento de nuevas variaciones genéticas (mutaciones) que originan variabilidad y selección en el favorecimiento de algunos alelos sobre otros (la diversidad de alelos se da por las mutaciones). Esto significa que la selección natural elimina a los individuos con alelos poco aptos, pero permite que los que son más aptos sobrevivan y se reproduzcan. Al incrementar el número de individuos con cierto alelo en la población, se está aumentando la frecuencia de ese alelo, al disminuir los individuos con ese alelo se reduce su frecuencia, como se verá más adelante.

Algo importante a reconocer es que los organismos que sobreviven hasta la reproducción no son los más fuertes ni los más inteligentes (pues una gran parte de especies del planeta no tienen sistema nervioso ni muscular) sino los más aptos. Esta aptitud se puede presentar de diversas formas, desde la imagen que podemos tener de astas de renos chocando hasta una mariposa cuyos colores la pueden ocultar mejor y así mejorar sus oportunidades de

sobrevivencia. Aunque las astas y los colores son determinados por los genes, la selección natural está actuando sobre lo que expresan estos genes, es decir, la selección natural actúa sobre el fenotipo.

Pero ¿de qué formas actúa la selección natural sobre el fenotipo? Pues, tenemos tres modelos que nos ayudan a explicar este fenómeno natural: selección direccional, disruptiva y estabilizadora. A continuación, veremos de que trata cada uno de estos tipos de selección empleando un ejemplo de unos ratones de campo (*Peromyscus maniculatus*). Nuestra población original presenta distintos tonos en el pelaje, cada uno es la expresión de un alelo distinto, y hay diferentes alelos por las mutaciones que se han presentado (Figura 1).

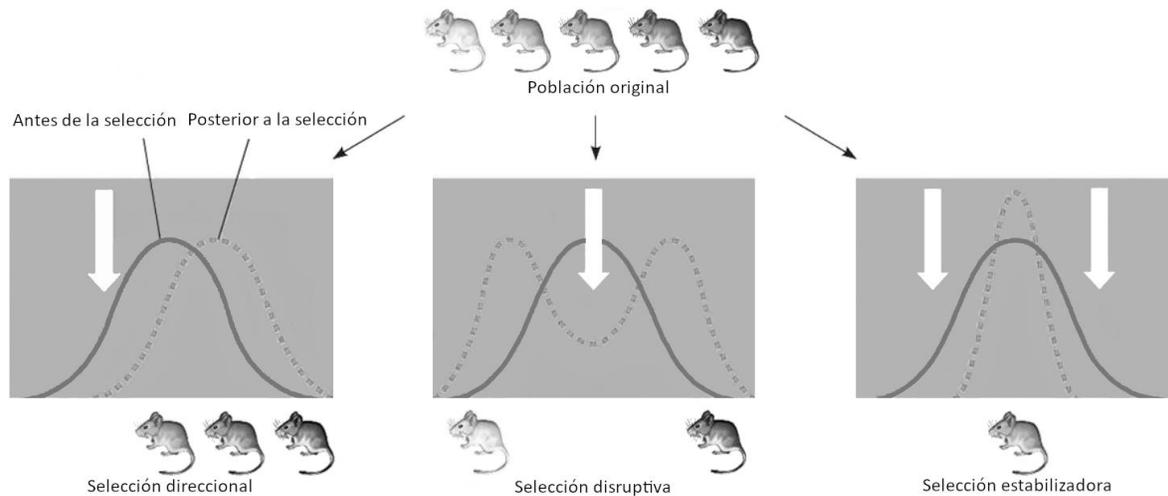


Figura 1. Los tipos de selección natural. La línea sólida es la distribución normal del fenotipo antes de la selección y la línea punteada la distribución del fenotipo después de la selección. Las líneas blancas indican en qué fenotipos se va a ejercer la presión de selección (modificado de Urry *et al*, 2016).

Selección direccional

Este tipo de selección se da cuando un fenotipo en el extremo de la gama que nos da la variabilidad se ve beneficiado cambiando la curva de las frecuencias alélicas hacia ese extremo. Este tipo de selección se puede dar cuando el entorno cambia o cuando hay una migración a un nuevo entorno. En nuestro ejemplo se aprecia que la selección actúa sobre los fenotipos más claros y sobreviven los más oscuros.

Selección disruptiva

Este tipo de selección se da cuando los fenotipos favorecidos son los de ambos extremos de nuestra población, es decir que tienen más probabilidades de sobrevivir hasta la reproducción, mientras que los fenotipos intermedios son los que tienen menos

probabilidades de sobrevivir. En el ejemplo se ve que los tonos intermedios son los afectados y sobreviven el más claro y el más oscuro.

Selección estabilizadora

En este tipo de selección los fenotipos que se favorecen son los intermedios, y los que tienen menos oportunidades de sobrevivir son los fenotipos de los extremos. Este tipo de selección es el que suele mantener a la especie sin cambios. En el ejemplo los fenotipos afectados son el más claro y el más oscuro y sobrevive el tono intermedio.

Ahora que ya hablamos de los tipos de selección y sobrevivencia del más apto podemos ver qué es lo que permite esta aptitud de los organismos, en otras palabras, vamos a ver qué es lo que permite que los individuos sobrevivan. Dentro de los efectos de las mutaciones en la población van a surgir nuevos caracteres que se van a someter a selección natural, si estos caracteres ayudan a la sobrevivencia entonces podemos hablar de una adaptación. Como el carácter ayudó a la supervivencia, entonces los genes que codifican para esto podrán ser heredados a la siguiente generación diseminándose de generación en generación por toda la población cambiando las frecuencias alélicas de la especie. Eventualmente esta adaptación se puede fijar en la población y permanecer cuando se dé un evento de especiación, quedando la adaptación en ambas especies hijas.

Para entender ejemplos de adaptación solo hay que pensar especies que conocemos y pensar que tiene que le permite sobrevivir. Algunos ejemplos en especies que no se han domesticado son las hojas de los cactus que se adaptaron como espinas ayudando a la planta a no perder agua y a su defensa, los colores vívidos de las flores para atraer polinizadores, los animales inofensivos que imitan los colores de los venenosos, en ballenas la adaptación de los dientes a forma de cepillos para filtrar su alimento (los cepillos se llaman ballenas, como el animal), y en bacterias la capacidad de formar una cápsula cuando el medio no tiene las condiciones para sobrevivir.

Actividad

Complementa las siguientes oraciones.

1. La selección natural se da por _____ y _____
2. Los organismos que sobreviven son los más _____
3. La selección natural actúa sobre el _____
4. Los modelos de selección natural son _____,
_____ y _____

5. La selección _____ beneficia a un fenotipo extremo afectando a _____
6. La selección estabilizadora beneficia _____ y afecta _____
7. La selección _____ beneficia los fenotipos de los extremos y afecta a los _____
8. Los caracteres fenotípicos que mejoran la oportunidad de sobrevivir se llaman _____
9. Las adaptaciones están codificadas en los _____
10. Las adaptaciones surgen por _____
11. Si la adaptación es exitosa, después de varias generaciones este carácter se _____ en la población
12. Al incrementar un fenotipo en una población se puede decir que ese alelo _____ su frecuencia
13. Cuando _____ un fenotipo en la población refleja que ese alelo reduce su frecuencia
14. En la siguiente imagen (Figura 2) se muestra que la frecuencia del _____ del pelaje oscuro va _____

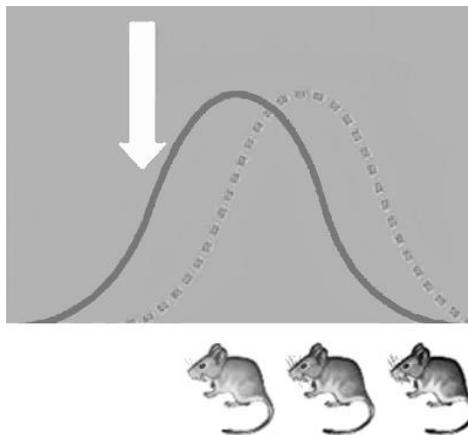


Figura 2. Selección direccional en ratones de campo (*Peromyscus maniculatus*). La flecha blanca indica en donde está la presión de selección, la línea gris la distribución normal original y la línea punteada la distribución normal futura (modificado de Urry *et al*, 2016).

15. La siguiente figura (Figura 3) muestra que la _____ del alelo del pelaje intermedio va _____

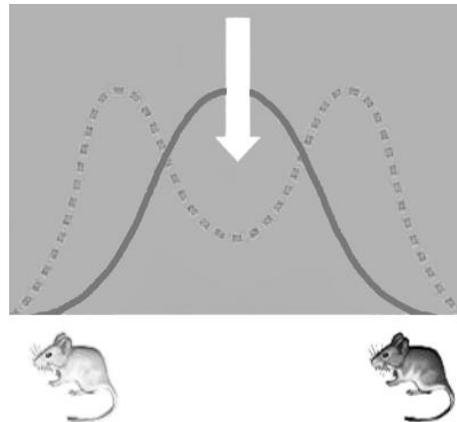


Figura 3. Selección disruptiva en ratones de campo Murry (*Peromyscus maniculatus*). La flecha blanca indica en donde está la presión de selección, la línea gris la distribución normal original y la línea punteada la distribución normal futura (modificado de Urry *et al*, 2016).

16. En la ilustración (Figura 4) que se presenta a continuación se aprecia que la _____ del _____ del pelaje intermedio va _____

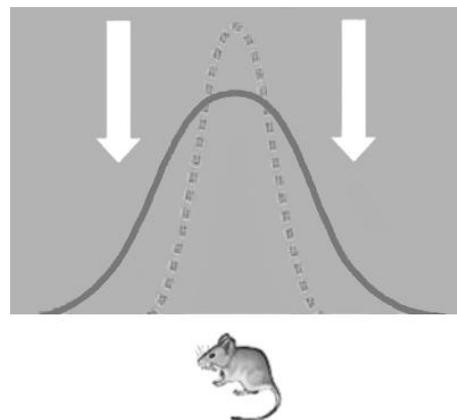


Figura 4. Selección estabilizadora en ratones de campo Murry (*Peromyscus maniculatus*). La flecha blanca indica en donde está la presión de selección, la línea gris la distribución normal original y la línea punteada la distribución normal futura (modificado de Urry *et al*, 2016).

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema I. Principales procesos evolutivos que explican la biodiversidad.

Deriva génica.

Aprendizaje: Identifica la deriva génica como un proceso aleatorio que cambia la frecuencia de alelos en las poblaciones biológicas

Sugerencias de evaluación

A modo de evaluación diagnóstica se recomienda preguntar abiertamente a los alumnos, a manera de diálogo, si saben qué es el azar y que es una frecuencia pues son conceptos necesarios para lograr este aprendizaje. Otras preguntas para complementar este diagnóstico pueden ser ¿Qué es un gen? ¿Qué es un alelo? ¿Qué diferencia hay entre un alelo y un gen?

Para la evaluación formativa se propone que los alumnos investiguen algún caso real de deriva génica, de preferencia que no sea en humanos, y expliquen basándose en las características presentes, el cambio de las frecuencias alélicas.

Lectura

La deriva génica es un proceso en el que van a cambiar las frecuencias o proporciones de los alelos en una población debido al azar. Esto significa que por cuestiones de casualidad va a haber alelos en la población que se van a perder en las siguientes generaciones. Cuando se pierden estos alelos podemos hablar de una pérdida de la variabilidad y esto va a limitar la respuesta de la población ante la selección natural y puede llevar a la extinción. Pero, si la población es muy grande es más difícil que se presente este escenario. La deriva génica se puede apreciar en dos fenómenos: el efecto fundador y el cuello de botella.

El efecto fundador sucede cuando tenemos una población y una pequeña parte de esa población se aísla, puede ser por migración o por algún evento en el entorno. Esta pequeña porción de individuos lleva los genes de la población original, pero no lleva todos los alelos, solo una pequeña muestra de ellos. Y aquí es donde entra el elemento importante de la deriva génica, si te preguntas cómo se seleccionaron los alelos que se aislaron, la respuesta es que se seleccionaron al azar. Esta nueva población pequeña puede sobrevivir en su nuevo entorno, pero al no tener intercambio de genes con la población original, en otras palabras, al cortar el flujo génico, se reproducirán entre sí usando los alelos que llevaron consigo

acumulando mutaciones distintas a la población original y diferenciándose tanto que pueden formar una nueva especie. Aunque por la poca variabilidad genética que tiene pueden sucumbir ante alteraciones bruscas del ambiente y morir. En este escenario podemos pensar que la catástrofe es menor porque la población original permanece intacta.

El otro fenómeno es el cuello de botella. Este nombre se le da a un evento en el que ocurre un cambio drástico en el ambiente y casi todos los individuos de la especie mueren, y casi toda la variabilidad genética que tenían desaparece; solo sobreviven algunos pocos ejemplares con una pequeña muestra de toda esa variabilidad génica. Como ya no hay otra “reserva” de genes, solo la que tienen los sobrevivientes, es más probable que se dé la extinción de la especie en este fenómeno.

Tanto en el efecto fundador como en el cuello de botella podemos pensar que en la muestra de alelos al azar va un alelo que provoque un efecto negativo en los individuos, este puede referir a una enfermedad o a una malformación. Al no tener alelos de la población original que lo contrarresten, este quedará fijado en la población.

Para recapitular, podemos decir que los cuatro puntos principales de la deriva génica: los efectos son significativos en poblaciones pequeñas, puede causar que las frecuencias de los alelos suban o bajen al azar, puede llevar a una pérdida de variabilidad genética en una población, y pueden causar que los alelos dañinos se fijen en la población

Actividad (recomendada en equipo)

Junta al menos 10 objetos similares con colores distintos, pueden ser lápices o plumas de colores, dulces de colores, bolitas de papel de colores, etcétera que representan distintos fenotipos de alguna especie de tu elección. Asegúrate que haya “individuos” con colores repetidos. En la Tabla 1 anota el color y el número de objetos con ese color, si es necesario añade más filas para más colores.

A continuación, simularás un evento de deriva génica. Anota cuál de los dos tipos y elige de manera aleatoria una “población” muestra de $1/3$ del total de individuos. Puede ser que los introduzcas en un contenedor tapado y los saques sin ver. En la Tabla 2 anota los colores que sacaste al azar y el número de individuos. Si es necesario, añadir más filas.

Especie: _____

Evento: _____

Tabla 1. Población inicial

Color	Número

Tabla 2. Población después de deriva génica

Color	Número

Dependiendo del tipo de evento que elegiste, explica si los alelos perdidos pueden regresar a la "población" y cómo fue el cambio en las frecuencias.

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema II. Especie y especiación.

Conceptos de especie

Aprendizaje: Compara los conceptos de especie biológica, taxonómica y filogenética, como base del estudio de la biodiversidad

Sugerencias de evaluación

Como evaluación diagnóstica se recomienda pedir a los alumnos que en una hoja de papel dibujen un individuo de cualquier especie silvestre. Posteriormente que enlisten qué hace a esa especie una especie y considerar si se están guiando por el aspecto morfológico o el reproductivo para abordar mejor los otros conceptos. También se recomienda preguntar a los alumnos si saben que es un árbol filogenético, en caso de que la respuesta sea negativa lo recomendable es revisar el aprendizaje correspondiente a esa temática (Unidad 1, Tema III Filogenia e historia de vida. Árboles filogenéticos)

Para la evaluación formativa se sugiere pedir a los alumnos que a la especie del diagnóstico o a otra, le implementen los distintos conceptos del aprendizaje para localizar las posibles fallas en su comprensión.

Lectura

En nuestro planeta la diversidad de formas de vida es inmensa y ha sido inmensa. Tenemos entre de 1.6 y 1.8 millones de especies descritas actualmente (Morrone, 2013), esto significa que es el número de especies que la ciencia ha descrito. Pero no significa que sea el total del mundo, se cree que más del 80% de especies siguen sin ser descritas (Mora *et al.*, 2011). Esto a pesar de llevar casi 300 años de descripción de especies con el sistema que usamos.

Pero detrás de este trabajo hay una pregunta fundamental: ¿Qué es una especie?

La respuesta a esto es complicada, y a lo largo de la historia moderna se han planteado varias ideas sobre lo que puede ser una especie. Hay definiciones que se fijan en la concepción mental, en que tanto se parecen los individuos, en el aislamiento reproductivo, en su identidad en el tiempo, en sus genes o en su posición en un árbol filogenético. No hay una sola forma de definir especie, pues al momento de delimitar un aspecto se dejan muchos otros sin abordar. Sin embargo, algunos de los conceptos más usados son el

biológico de forma común y libros de texto, y el taxonómico y filogenético en la investigación.

Concepto Biológico

Esta aproximación para definir especies refiere a un grupo de poblaciones cuyos miembros tienen la capacidad de reproducirse entre sí y dejar descendencia fértil, pero no pueden dejar descendencia fértil con miembros de otras especies. En otras palabras, se puede pensar en una población de perros del Valle de México, se reproducen entre ellos y su descendencia sigue siendo fértil; si por casualidad se aparean con perros de Alaska, Sudáfrica, Siberia, Australia o cualquier otro lugar lejano, su descendencia sigue siendo fértil. Pero si se llegaran a aparear con otro grupo, digamos coyotes, aunque sean de la misma región, no va a suceder lo mismo, lo que nos indica especies distintas. Esto es aislamiento reproductivo.

Este término se acuñó hace ya muchos años, pero en 1942 es cuando se hizo énfasis al aislamiento reproductivo y con el paso del tiempo se fue complementando agregando que son genéticamente similares. Pero hay un gran problema con este concepto: está dejando de lado a todos los grupos que se reproducen de forma asexual, enfocándose en plantas, animales y hongos, y aun así hay especies de estos grupos que se reproducen asexualmente. También está dejando de lado los procesos de especiación por hibridación que son importantes en plantas.

Concepto Taxonómico

Este concepto trata a las especies como una población o conjunto de poblaciones con caracteres morfológicos propios según los ojos de un sistemático (científico dedicado a nombrar especies y buscar sus relaciones evolutivas), y que son suficientes en su opinión para que sea una especie. Este concepto se basa más en la opinión o interpretación de una persona que en la realidad biológica. Un autor menciona que en este concepto una especie es lo que un sistemático dice que es una especie.

Pero este concepto se desprende del morfológico. En esta definición una especie es el “conjunto más pequeño” de individuos que comparten caracteres similares y “bien distinto de otro conjunto”, asociados por una distribución geográfica definida. “Conjunto más pequeño” significa que no se puede separar en subconjuntos, “bien distinto” significa que todos los individuos se distinguen de otros grupos. Las críticas a este concepto son variadas, principalmente en el campo de la microbiología pues las formas y caracteres distintivos de la microbiota pueden ser difíciles de distinguir.

Concepto Filogenético

Para comprender qué es una especie bajo el concepto filogenético, primero hay que conocer y entender los árboles filogenéticos. Esto se encuentra en la segunda subtemática del tema III de esta unidad.

Una especie filogenética es el grupo monofilético que ya no incluye más grupos en el árbol filogenético porque presenta suficientes autapomorfías, o caracteres novedosos. Esta definición está agrupando varios elementos: al usar un árbol filogenético se habla de que el grupo deja descendencia sin importar si es sexual o asexual, y también de sus relaciones evolutivas (el trabajo de un sistemático); al hablar de apomorfías se aborda la parte morfológica, pero también incluyen caracteres genéticos. Este es, entonces, uno de los conceptos más completos, pero no el definitivo.

Si hay una gran variedad de conceptos, entonces ¿qué hacemos los biólogos que nos dedicamos a trabajar con especies? La respuesta es que usamos el concepto que más ayude a nuestra investigación.

Actividad

Identifica que concepto se está aplicando en las siguientes situaciones

1. En un viaje de campo se recolectaron distintos tipos de insectos. De regreso en el laboratorio el equipo de trabajo los observa bajo el microscopio identificando características como colores, tamaño de las patas, largo del cuerpo, forma de las antenas. Después de comparar estos datos con la literatura, determinan que todos son especies conocidas con excepción de un tipo de insecto. Entonces, este equipo de expertos en sistemática y taxonomía decide que esta especie es nueva para la ciencia.

Concepto de especie aplicado: _____

2. En otro viaje de campo se recolectaron muchos platelmintos que se parecen. En el laboratorio los colocan en medios que simulan su hábitat y registran su comportamiento. Se dan cuenta que a pesar de que conviven, temporalmente se forman dos grupos separados y comienzan a aparearse de forma independiente. Después, regresan a convivir y al poco tiempo hay crías de ambos grupos que repiten este comportamiento.

Concepto de especie aplicado: _____

3. Se hace el estudio de un grupo de 3 especies juntando evidencia morfológica, molecular, ecológica y paleontológica se propone la hipótesis del árbol filogenético. Como resultado se dan cuenta que una de esas especies no era monofilética y en el árbol están obteniendo 4 especies

Concepto de especie aplicado: _____

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema II. Especie y especiación.

Patrones de cambio evolutivo

Aprendizaje: Distingue la anagénesis y cladogénesis como patrones de cambio evolutivo

Sugerencias de evaluación

Se sugiere iniciar una evaluación diagnóstica pidiendo a los alumnos que identifiquen que elementos observan que se repiten en un árbol filogenético (hipotético presentado por el profesor), es decir, que identifiquen patrones presentes en el árbol. Si este resultado es positivo se recomienda preguntarles si saben que significan estos patrones. Se propone de nuevo revisar el aprendizaje referente a árboles filogenéticos (Unidad 1, Tema III Filogenia e historia de vida. Árboles filogenéticos) en caso de que haya un desconocimiento total en este diagnóstico.

Como evaluación formativa se puede pedir a los alumnos que ellos simulen eventos de especiación anagenética y cladogenética para algún grupo biológico que sea de su agrado y corroborar que haya al menos un evento de anagénesis y otro de cladogénesis. Este árbol no reflejará la realidad biológica, pues se basará en lo que ellos imaginen.

Lectura

Como ya se abordó para el aprendizaje anterior, en un árbol filogenético podemos distinguir especies en los terminales del mismo, aunque a veces se representan grupos más grandes como géneros, familias, etcétera. Y al representar las relaciones evolutivas, se puede rastrear la historia de la especie desde la actualidad hasta miles o millones de años atrás. Se puede imaginar que es como ver el árbol genealógico de la especie, pero en un periodo de tiempo mucho más grande.

Cuando en el árbol filogenético se identifica la especie en el terminal se rastrea su historia evolutiva conforme se sigue el linaje hacia la raíz. Al hacerlo se identifican dos posibles eventos: el linaje se bifurca o el linaje se mantiene sin dividir. Estos son patrones que se van a repetir en todo el árbol; el primero que es la bifurcación se denomina cladogénesis y es más común, el segundo que no presenta división se denomina anagénesis.

Es necesario aclarar que todas estas propuestas son hipótesis, pues aparte de los relojes moleculares se necesita del registro fósil para rastrear el pasado de cada especie. Como se sabe bien el registro fósil está lejos de ser completo, por lo que se usan los fósiles disponibles. Con el tiempo se mejora la calidad de los fósiles, y con esto la robustez de la hipótesis.

Anagénesis

En este proceso la especie acumula cambios a lo largo de millones de años, se le puede considerar el cambio evolutivo dentro de la especie o como un sinónimo de gradualismo; en este proceso no hay una ramificación de la especie pues el flujo génico va a mantener a la especie cohesionada tanto morfológica como genéticamente. Se pueden presentar dos situaciones en este modelo: la primera es que los cambios que acumula la especie sean demasiados que ya no se asemeje a cuando surgió, la segunda es que los cambios que acumula sean muy pocos y la especie se vea casi igual que al inicio y en estos casos se les denomina "fósil viviente". En ambos casos será evidente al verlo en un árbol filogenético.

Para identificar un proceso de anagénesis en un árbol filogenético hay que buscar los linajes que no se ramifican como el ejemplo de la Figura 5.

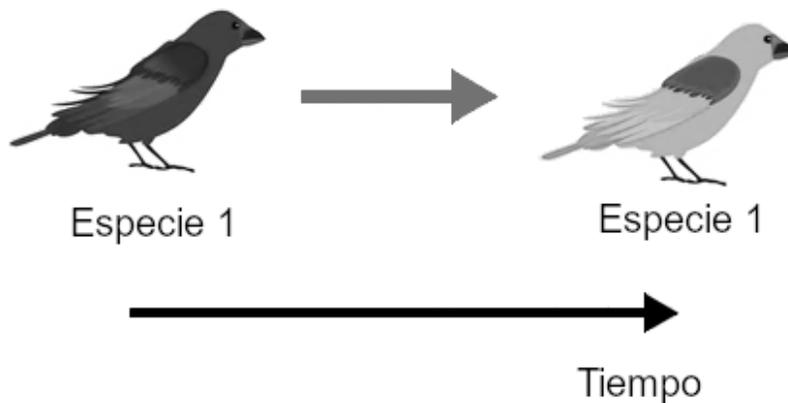


Figura 5. A la izquierda se encuentra la morfología original de una especie de ave, a la derecha la misma especie, pero con morfología distinta. Este es un ejemplo de anagénesis. Modificada de Shutterstock

Cladogénesis

Al igual que en el proceso anterior, la especie original va a acumular cambios, pero por efectos de deriva génica es que las poblaciones se ven aisladas y las mutaciones que originan esos cambios se acumulan de forma independiente. Lo que esto provoca es el surgimiento de dos especies hijas a partir de la original. De nuevo aquí se tienen dos posibles

escenarios: el primero es que ambas especies hijas sean completamente distintas a la especie que les dio origen, el segundo es que una de las especies hijas sea bien diferenciada y la otra sea similar. En este segundo caso se puede hablar de una anagénesis dentro de la cladogénesis.

Para poder distinguir este patrón en un árbol filogenético solo se tiene que buscar en donde se bifurcan las ramas. Estas bifurcaciones se denominan clados, de ahí deriva el nombre de cladogénesis: formación de clados por la separación de especies.

En la Figura 6 se aprecia un ejemplo de cladogénesis. En este ejemplo parte de la población de la Especie 1 se mantiene uniforme pero otra parte cambia de colores e incluso la cola es más larga formando a la Especie 2

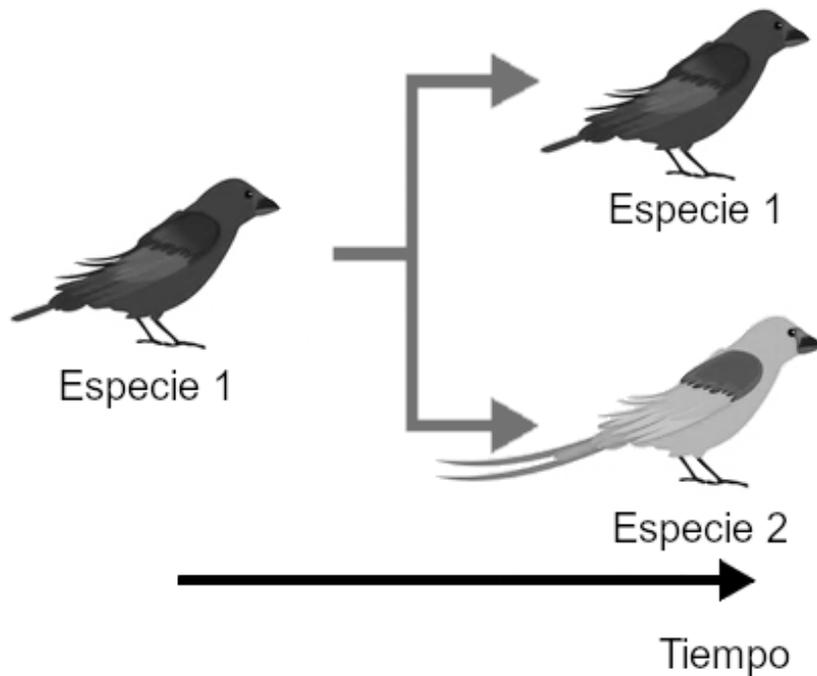


Figura 6. A la izquierda se presenta la morfología inicial, la división de la flecha representa el evento de cladogénesis, a la derecha las especies resultantes. Una tiene una morfología bien distinta y la otra es idéntica a la original, representando anagénesis dentro de la cladogénesis.

Modificado de Shutterstock

Actividades

A continuación, se presentan eventos en los que se aprecian los patrones de cambio evolutivo. Señala de cual se trata.

1)

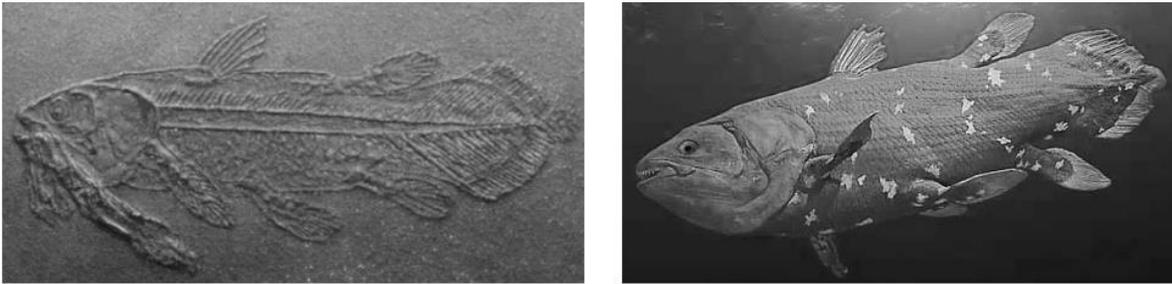


Figura 7. Imágenes de peces del género *Coelacanthus*. A la izquierda un fósil y a la derecha una fotografía reciente. Modificadas Alchetron (fósil) y de Science Alert (reciente).

En estas imágenes se aprecia el fósil de un celacanto del Triásico temprano (250 millones de años) y a su una fotografía reciente de la misma especie:

Anagénesis

Cladogénesis

2)

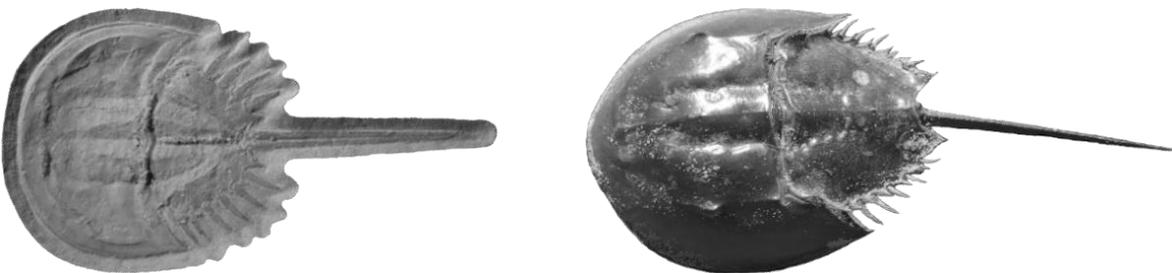


Figura 8. Imágenes de cacerolitas de mar de la especie *Limulus polyphemus*. A la izquierda se presenta el fósil y a la derecha una fotografía reciente. Modificadas de Darwinsdilemma (fósil) y Wikimedia Commons(reciente)

Aquí se representa a una especie de jifosuros del género *Limulus*. El fósil de la izquierda es de hace 20 millones de años y la fotografía de la derecha es reciente:

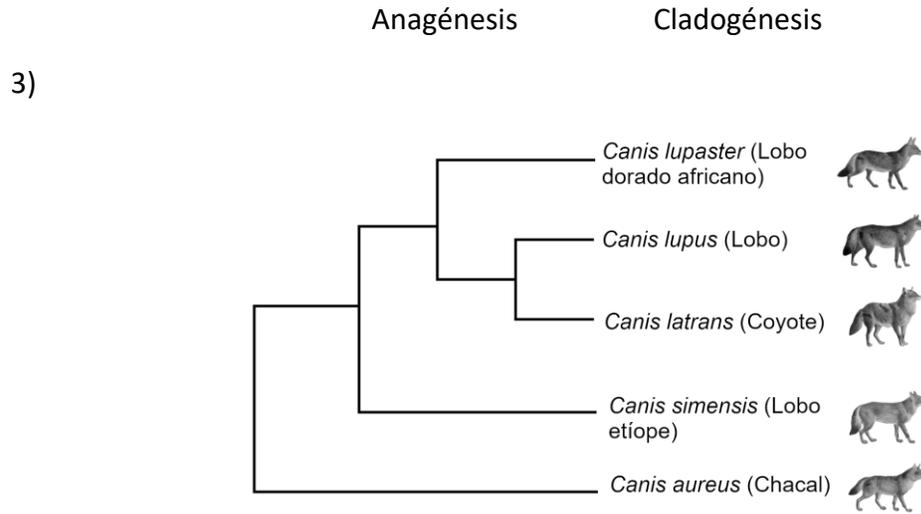


Figura 9. Árbol filogenético modificado de Koepfli *et al.*, 2015. Se representan parte de las relaciones de las especies del género *Canis*. Para fines del ejercicio se dejaron de fuera algunas especies.

Este árbol muestra las relaciones evolutivas de varias especies del género *Canis* y se aprecian varios eventos:

3a) El ancestro común del lobo y del coyote sufrió:

Anagénesis Cladogénesis

3b) El ancestro común del lobo dorado africano y del grupo lobo-coyote sufrió:

Anagénesis Cladogénesis

3c) Desde el surgimiento hasta el presente el chacal sufrió:

Anagénesis Cladogénesis

4) En la siguiente imagen se muestran eventos hipotéticos de cladogénesis y de anagénesis. Suponiendo que los pokemones no sufren metamorfosis (cambios inmediatos en un individuo) sino evolución (cambios en millones de años en la especie), marca los procesos de anagénesis y cladogénesis que involucra a Eevee, Flareon y Leafeon. Posteriormente enlista los cambios que notaste en cada evento.

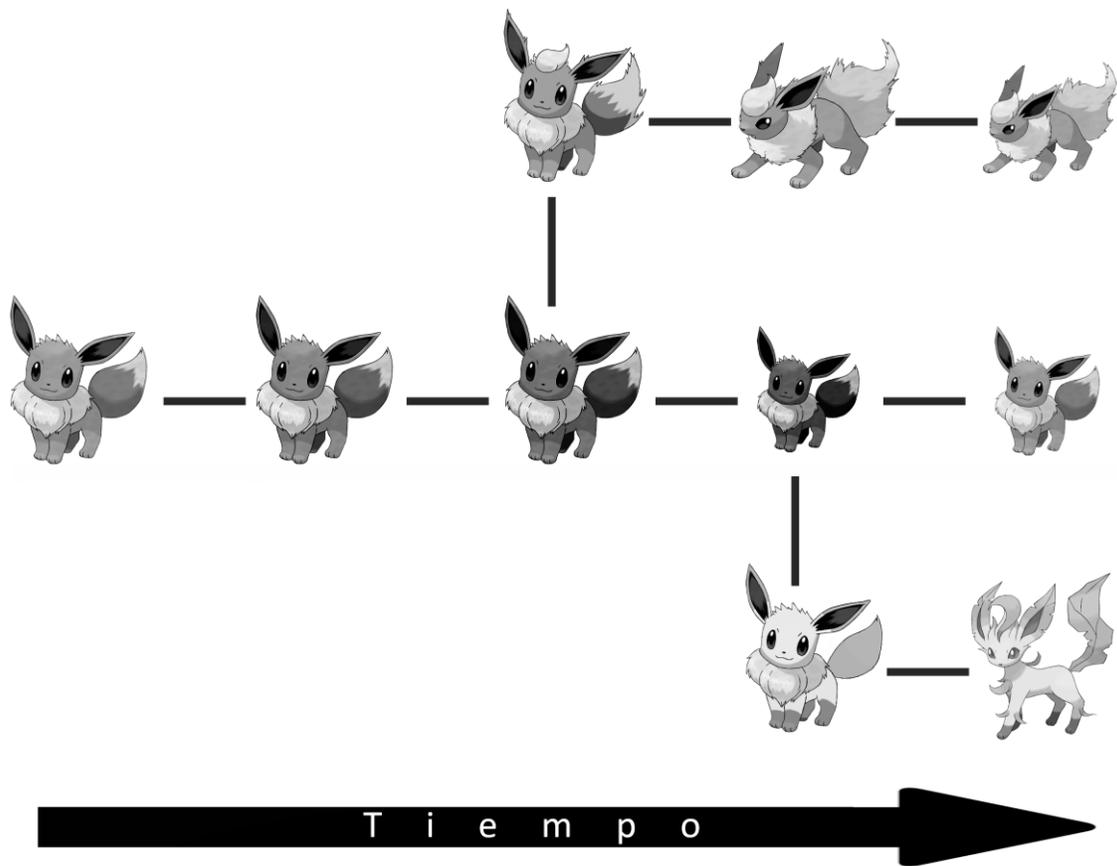


Figura 10. Árbol filogenético hipotético en el que se muestran los cambios evolutivos de Eevee, Flareon y Leafeon. La flecha indica el tiempo, lo más antiguo se encuentra a la izquierda y lo más reciente a la derecha

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema II. Especie y especiación.

Especiación: concepto y modelos

Aprendizaje: Comprende los modelos de especiación alopátrica, simpátrica e hibridación, que originan la diversidad biológica

Sugerencias de evaluación

Se recomienda a manera de diagnóstico preguntar a los alumnos de forma abierta si tienen alguna idea de cómo es que surgen las especies, pero no en un árbol filogenético, sino en su ambiente natural. Si la respuesta es negativa, continuar el diagnóstico preguntando cómo se imaginan que surgen. Si la respuesta es positiva, preguntarles qué información tienen acerca de su origen.

Como evaluación formativa se sugiere pedir a los alumnos que intercambien la actividad que se encuentra más adelante y pedirles que hagan una coevaluación del trabajo de los demás usando criterios establecidos entre todo el grupo.

Lectura

En el aprendizaje anterior se abordó el reconocimiento de los cambios en las especies a lo largo de un árbol filogenético. En este, se encontrarán los modelos bajo los que puede estar operando la cladogénesis y otro más que causa confusión al intentar dilucidar el pasado evolutivo de varias especies: la hibridación. Hay que tomar en cuenta que para decir que hubo un proceso de especiación, en general se considera que se establecieron bien las barreras reproductivas precigóticas y poscigóticas.

Se han propuesto varios modelos bajo los cuales las distintas poblaciones de las especies, en su medio natural y a lo largo de muchísimo tiempo, acumulan mutaciones de forma independiente por distintas causas y terminan convirtiéndose en dos especies distintas, es decir, van evolucionando. Estas mutaciones son los elementos intrínsecos a la especie, los factores extrínsecos son el ambiente y elementos geográficos en donde habita la especie que pueden ir separando linajes.

Especiación alopátrica

El principal elemento de este modelo es una separación dada por alguna barrera natural. Esta barrera va a separar a las poblaciones de la especie por mucho tiempo, hay que considerar que para unas especies la barrera puede ser distinta que para otra. Aquí la deriva génica hace que las mutaciones de un lado de la barrera sean independientes y distintas a las del otro lado, esto hace que se acumulen diferencias genéticas y morfológicas diferentes en cada subpoblación. Con esto las barreras reproductivas se presentan y ya no se pueden reproducir.

En la Figura 11 se muestra como este modelo iría progresando y cómo se refleja en un árbol filogenético. Al inicio el círculo representa a toda la especie "A" unida, después se marca el surgimiento de la barrera y de las dos subpoblaciones de "A"; en el árbol filogenético solo se muestra el linaje de "A". Con el tiempo una de las subpoblaciones de "A" se convierte en "B" por lo mencionado anteriormente, esto se ve en el árbol filogenético como la bifurcación.

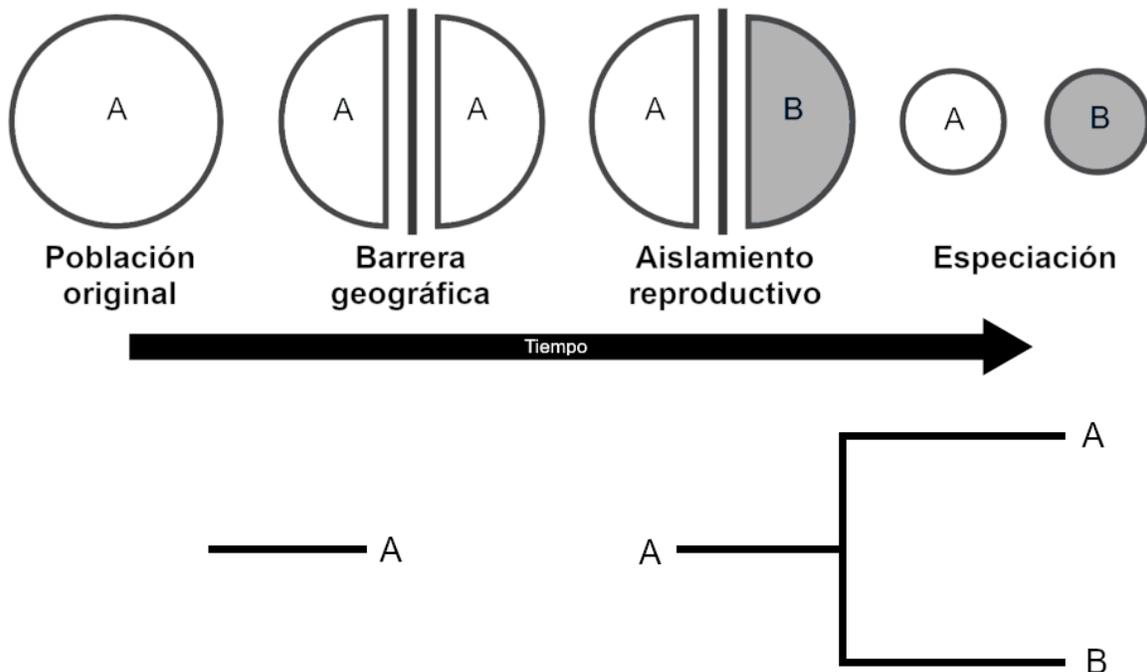


Figura 11. Modelo de especiación alopátrica acompañado de su correspondiente árbol filogenético. La especie "A" diverge en "A" y "B".

Especiación simpátrica

A diferencia del modelo anterior, aquí no hay surgimiento de barreras y se da menos. La especiación se da dentro de la misma población por un aislamiento genético, morfológico o etológico; estas formas de aislamiento son el reflejo de poliploidías, selección sexual y cambio de hábitos. Hay dos formas en las que se puede apreciar este modelo: divergente

(forma divergencias en los árboles filogenéticos) y reticulada (forma redes en los árboles filogenéticos). La divergente se puede dar por selección disruptiva y selección sexual, la reticulada se da por la hibridación entre dos especies existentes (Wiley y Lieberman, 2011).

En la Figura 12 se muestra el desarrollo de este modelo en el tipo divergente. La población original es de la especie "A", con el tiempo se presenta un aislamiento por cualquiera de los motivos que se presentaron posteriormente y se comienza a diferenciar una población dentro de la distribución de la original. Al final la deriva génica provocada por el aislamiento, pero dentro de la misma zona geográfica termina de separar a las especies. En el árbol filogenético se percibe la separación del linaje, pero se refleja diferencia entre este modelo y el alopátrico.

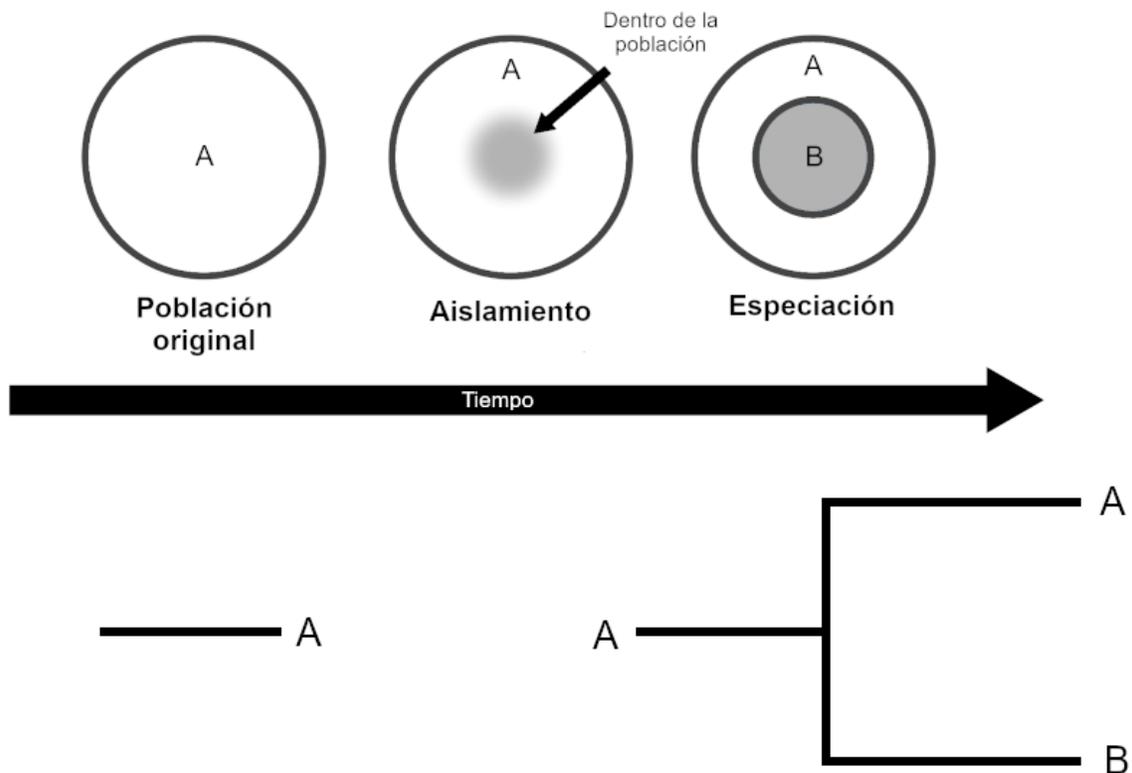


Figura 12. Modelo de especiación simpátrica acompañado de su correspondiente árbol filogenético. La especie "A" diverge en "A" y "B".

Especiación por hibridación

Este proceso de surgimiento de especies ocurre de la siguiente manera: Se tienen dos especies cercanas cohabitando un mismo sitio, esta interacción geográfica y ecológica supone que en algún momento habrá cópula entre individuos de estas distintas especies. Lo que se puede pensar es que no hay descendencia, pero hay casos en los que sí hay y

además esa descendencia es fértil. Esta descendencia que fue el resultado de la mezcla de dos especies distintas se va a aislar reproductivamente de las sus especies progenitoras formando una nueva especie. Es necesario que las barreras reproductivas no estén completamente presentes y claramente no va acorde al concepto biológico de especie. Algunos grupos biológicos en los que se conoce esta hibridación son moscas de la fruta, mariposas, peces, el delfín climene, pero sobre todo plantas; se ha estimado que entre el 2 y 4% de las plantas con flor son resultado de la hibridación (Otto y Whitton, 2000).

Este proceso se ilustra en la Figura 13. La especie "A" y la especie "B" son independientes una de la otra, pero habitan en la misma región. Cuando hay una mezcla entre ambas comienza a surgir un tercer grupo que se puede considerar intermedio, y si se aísla reproductivamente por suficiente tiempo va a formar la especie "C". En el árbol filogenético se ve el linaje de "A" y de "B" independientes, al ocurrir la mezcla se unen dando origen a "C" y continúan independientes.

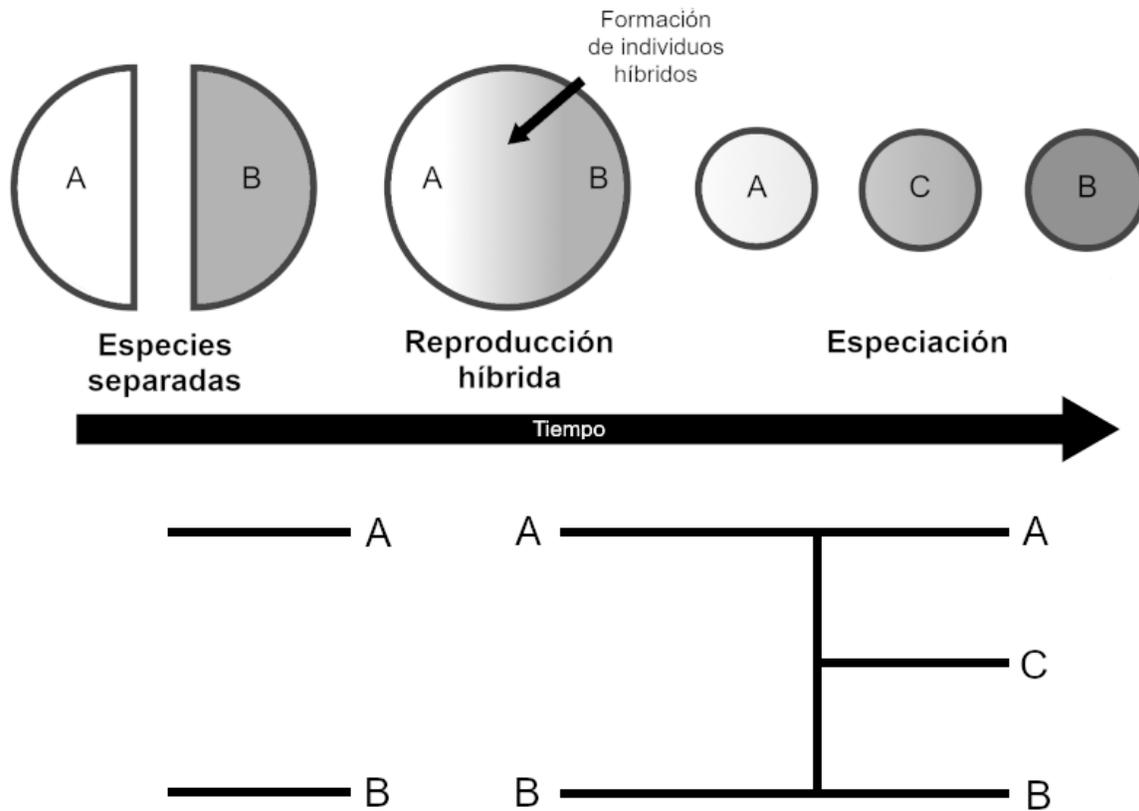


Figura 13. Modelo de especiación por hibridación acompañado de su correspondiente árbol filogenético. La especie "A" y "B" convergen en "C" pero se mantienen independientes.

Actividad

Esta actividad es completamente especulativa y depende de tu imaginación. Elige una especie silvestre e imagina que pasa por estos procesos de especiación. En todos vas a ilustrar los cambios que sufre para dar origen a las nuevas especies. Para el modelo alopátrico imagina e ilustra la barrera geográfica, en el simpátrico la causa del aislamiento y en la hibridación incluyes la segunda especie y el híbrido resultante.

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema III. Filogenia e historia de vida.

Extinciones y radiación adaptativa

Aprendizaje: Relaciona a las extinciones en masa con la radiación adaptativa

Sugerencias de evaluación

Como evaluación diagnóstica se sugiere hacer una exploración a forma de diálogo con los alumnos sobre que es extinción, extinción puntual y extinción en masa, como murieron todos los dinosaurios menos aves, que pasó con las formas de vida después de que se extinguieron los dinosaurios.

Para la evaluación formativa se recomienda dejar a los alumnos un trabajo en el que investiguen y plasmen las cinco extinciones en masa que han ocurrido en la tierra, a cada una le pongan las probables causas, que ilustren los principales grupos biológicos que se extinguieron y los que radiaron después del evento.

Lectura

Las formas de vida que conocemos el día de hoy no son las mismas que siempre han habitado este planeta, esto lo sabemos por todos los fósiles que se han descubierto y han revelado parte de la realidad biológica de hace miles y millones de años. Es gracias a este registro fósil que sabemos que la vida inició hace cerca de 4.1 mil millones de años (Bell *et al.*, 2015), pero también es gracias a él que sabemos que el planeta ha atravesado cinco eventos en los que se pierde gran parte de la biodiversidad que lo habitaba y lo que sucedió después. Estos eventos son las cinco extinciones en masa; una extinción es la desaparición de un grupo biológico, generalmente una especie, pero en estos eventos masivos desaparecieron familias e incluso filos enteros. Se especula que hubo una mucho antes, cuando surgieron los primeros organismos fotosintetizadores pues provocaron cambios a la atmósfera que suponía nuevas presiones de selección a organismos anoxigénicos.

Sus registros datan de hace 450 millones de años y su determinación se basa en los fósiles de organismos marinos de cuerpo duro. Esto es porque estos organismos marinos y las estructuras duras tienden a fosilizarse "más fácil" que los terrestres y las estructuras blandas y microorganismos. A continuación, se presentan las extinciones en masa:

1. Ordovícico-Silúrico: ocurrió entre estos dos periodos hace 450-440 millones de años en donde se perdieron del 60 al 70% de todas las especies, se hipotetiza que las razones fueron actividad volcánica, calentamiento global y anoxia (falta de oxígeno), no a una glaciación como se pensaba (Bond y Grasby, 2020).

2. Devónico: se dio en este periodo hace 370-360 millones de años en donde se extinguieron al menos el 70% de las especies y duró 20 millones de años. Las razones no se han podido determinar, pero se ha propuesto que pudo deberse a impactos de asteroides, un evento de supernova, plantas alterando el clima y los niveles de CO₂, o a actividad volcánica.

3. Pérmico-Triásico: se dio en la transición de estos dos periodos hace 250 millones de años. Es en la que se han perdido más especies, cerca del 96% por lo que se le conoce como “La Gran Mortandad”, incluso se extinguieron los trilobites que habían resistido las dos anteriores. Las causas son también desconocidas, pero se proponen impactos de asteroides, vulcanismo, fusil de clatartos (liberación de metano), anoxia, la formación de Pangea o una combinación de varias.

4. Triásico- Jurásico: entre estos periodos ocurrió, hace 201 millones de años. Entre el 70 y 75% de las especies se perdieron dejando el paso libre para que los dinosaurios llenaran hábitats disponibles. Las causas posibles son un cambio climático gradual, fluctuaciones en los niveles del mar, acidificación del océano (condiciones que pueden resultar familiares en la actualidad), impacto de asteroides o actividad volcánica.

5. Cretácico-Paleógeno: sucedió hace 66 millones de años y marcó la transición del Mesozoico al Cenozoico. Es tal vez el evento más conocido pues es el que terminó con la existencia de todos los dinosaurios con excepción de las aves, en total se perdieron 75% de las especies del planeta. La principal hipótesis fue el meteorito que impactó en Chicxulub y que desencadenó una serie de sucesos que provocaron las extinciones.

La interrogante puede surgir: Tantas veces la vida a estado cerca de desaparecer del planeta, entonces ¿cómo se recupera?

Posterior a las extinciones en masa se tienen los registros de que las especies que sobreviven pasan por proceso de especiación (surgimiento de especies) rápidos hablando en términos de tiempo geológico. Esto es porque grupos de organismos que logran adaptaciones rápidas pueden ocupar los espacios ecológicos que se quedaron vacíos. Un claro ejemplo que se puede percibir es la especiación que se dio después de la última extinción en masa: los dinosaurios ocupaban los principales “trabajos” o nichos ecológicos, después de su extinción fueron los mamíferos quienes especiaron y llenaron todos esos puestos vacíos. A este fenómeno se le denomina “Radiación adaptativa”, se presenta posterior a una extinción puntual, pero se aprecia en mayor medida después de una extinción en masa. De esta manera se puede decir que se “rellenan” los espacios que dejaron vacíos las especies que se extinguieron.

Actividad

Abajo se presenta la tabla cronoestratigráfica incluyendo eones, eras y periodos. En la columna de “Extinción” ubica cuando sucedieron cada una de las cinco grandes extinciones y márcala, puedes poner solo el número de extinción en donde corresponde. En la columna de grupos debes anotar algunos ejemplos de grupos biológicos que se extinguieron en cada una de las extinciones masivas. En la misma columna, pero los cuadros de los periodos siguientes a las extinciones en masa, anota algunos de los grupos que radiaron (toma en cuenta la orientación de la tabla).

Tabla 3. Modificación de la tabla cronoestratigráfica internacional v 2020/03.

Años (Ma)	Eón	Era	Periodo	Extinción	Grupos
2.58-hoy	Fanerozoico	Cenozoico	Cuaternario		
23-2.58			Neógeno		
66-23			Paleógeno		
145-66		Mesozoico	Cretácico		
201-145			Jurásico		
251-201			Triásico		
298-251		Paleozoico	Pérmico		
358-298			Carbonífero		
419-358			Devónico		
443-419			Silúrico		
485-443			Ordovícico		
541-485			Cámbrico		
635-541	Proterozoico	Neoproterozoico	Edicariano		
720-635			Criogeniano		
1000-720			Toniano		
1200-1000	Mesoproterozoico		Steniano		
1400-1200			Ectasiano		

1600-1400		Paleoproterozoico	Calymmiano		
1800-1600			Statheriano		
2050-1800			Orosiriano		
2300-2050			Rhyaciano		
2500-2300			Sideriano		
2800-2500	Aarqueano	Neo-arqueano			
3200-2800		Meso-arqueano			
3600-3200		Paleo-arqueano			
4000-3600		Eo-arqueano			
	Hadeano				

Unidad 1. ¿Cómo explica la evolución el desarrollo y mantenimiento de la biodiversidad?

Tema III. Filogenia e historia de vida.

Árboles filogenéticos

Aprendizaje: Comprende que los árboles filogenéticos son modelos explicativos de las relaciones temporales entre especies

Sugerencias de evaluación

Se recomienda abordar este aprendizaje antes del que corresponde a anagénesis y cladogénesis, o incluso antes del de conceptos de especie, pues estos aprendizajes dependen de la comprensión básica de un cladograma pequeño.

Para la evaluación diagnóstica se sugiere pedir a los alumnos que dibujen su árbol genealógico (tocogenético), después que elijan una especie silvestre y que dibujen el árbol tocogenético de uno de sus individuos, finalmente que dibujen el árbol “genealógico” de la especie (filogenético). Probablemente éste último lo dibujen con la especie como la raíz del árbol, si es así hay que pedirles que hagan uno nuevo, pero con la especie y otras similares como terminales y no como raíz. En este paso probablemente tengan dificultades, pero está bien.

Para llevar a cabo la evaluación formativa se le pedirá al alumnado que investigue y elabore el árbol filogenético de los humanos usando como raíz a *Australopithecus anamensis*. Se pedirá a los alumnos que en equipos comparen los árboles y señalen aquellas especies que sus compañeros omitieron. Posteriormente entre los alumnos evaluarán los árboles implementando criterios como esfuerzo, creatividad y cualquier otro que decidan entre ellos.

Lectura

Al rastrear el pasado de las especies se pueden dilucidar cuáles son sus especies hermanas, o grupos hermanos si hablamos de algún nivel sobre especie (género, familia, etcétera). Estas relaciones que se van dando como resultado de la evolución se plasman en gráficos llamados árboles filogenéticos. Hay varios tipos, pero el más usado es el que se llama cladograma e incluso se llegan a usar como sinónimos.

El primero en representar un árbol filogenético como ilustración de la evolución de las especies fue Charles Darwin de manera hipotética, pero fue Haeckel en 1886 quien lo

implementó poniendo como raíz común a los “Monera” y luego se divide en 3 ramas principales que son plantas, protistas y animales (Figura 14). Sin embargo, el planteamiento de estos árboles se basaba en un principio nada científico: principio de autoridad; esto es básicamente que quien es el mayor científico en un área es quien tiene razón (sin necesidad de evidencias).

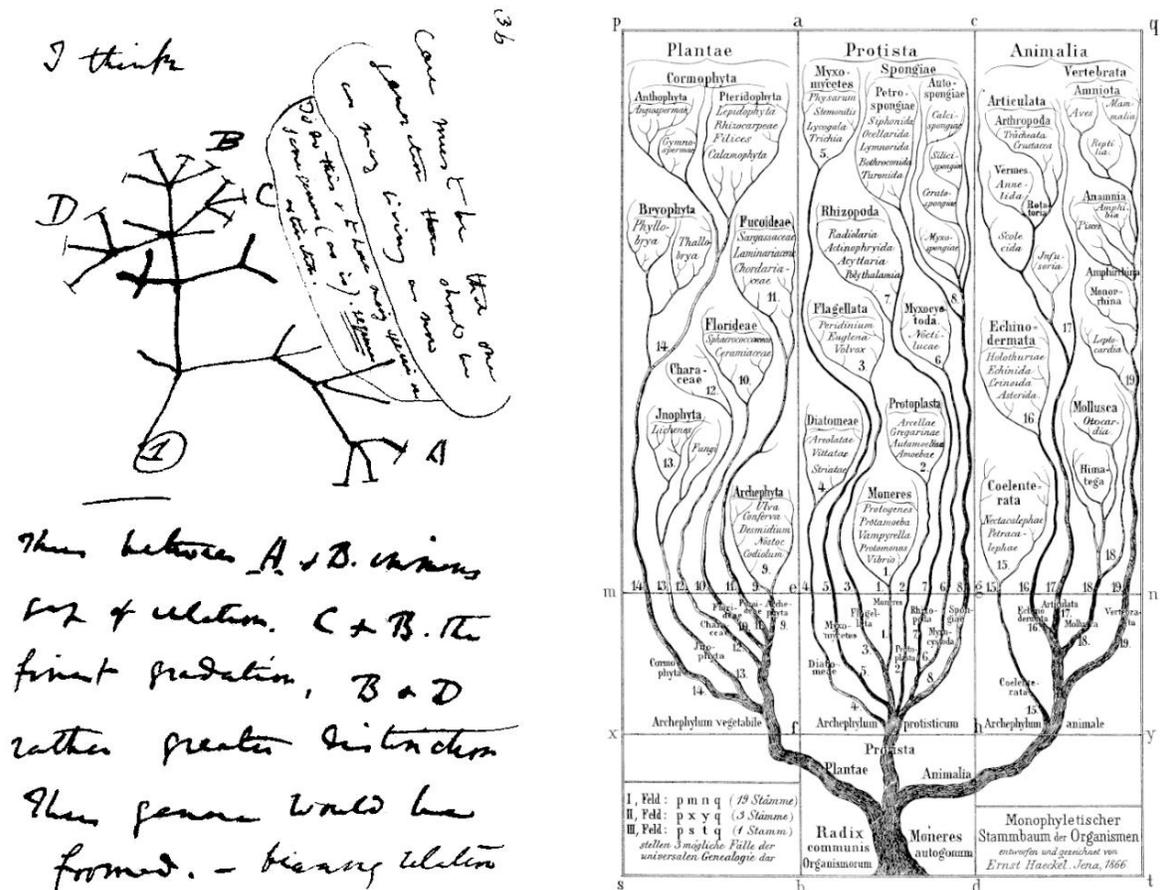


Figura 14. A la izquierda se muestra el árbol filogenético que plasmó Charles Darwin en donde dice que él cree que así se daban las relaciones. A la derecha el árbol de Haeckel en donde incluye a los principales grupos biológicos reconocidos en su época

Por más de 100 años la representación de las relaciones evolutivas dependía de la imaginación de los científicos sin que hubiera un método que permitiera replicar resultados. Fue hasta 1950 que Willi Hennig publicó en su libro una forma de hacer estos árboles de manera reproducible y comprobable, además de que también se podrían establecer relaciones con especies extintas y estableció que la mejor clasificación de los organismos es la que refleja sus relaciones evolutivas. Para lograrlo propuso ciertas reglas además de implementar el principio de parsimonia: el árbol que sea el menos complicado es más probable que sea el correcto.

Para entender un árbol filogenético actual se tiene que reconocer sus partes, consiste en una raíz (que puede estar implícita), ramas (internas y terminales) y nodos (internos y terminales o taxones). Para poder interpretarlo se localiza la raíz que representa el punto más atrás en el tiempo y a la especie más ancestral. De este punto se siguen las ramas internas, en donde se anotan los caracteres en algunos árboles, que representan el paso en el tiempo hasta llegar a un nodo interno, esto marca a la especie ancestral de las que surgen en la división. Esta división (clado) ilustra un proceso de especiación. De este punto cada rama interna que avanza representa a cada especie que se separó hasta llegar al siguiente evento. Puede ser una nueva división (especiación), la terminación abrupta (extinción) o que llegue hasta la orilla (existente). Hay que aclarar que las bifurcaciones se pueden ilustrar con ángulos rectos o con ángulos agudos, incluso en forma circular, pero representan lo mismo. En la figura 15 se aprecia un árbol filogenético con sus partes.

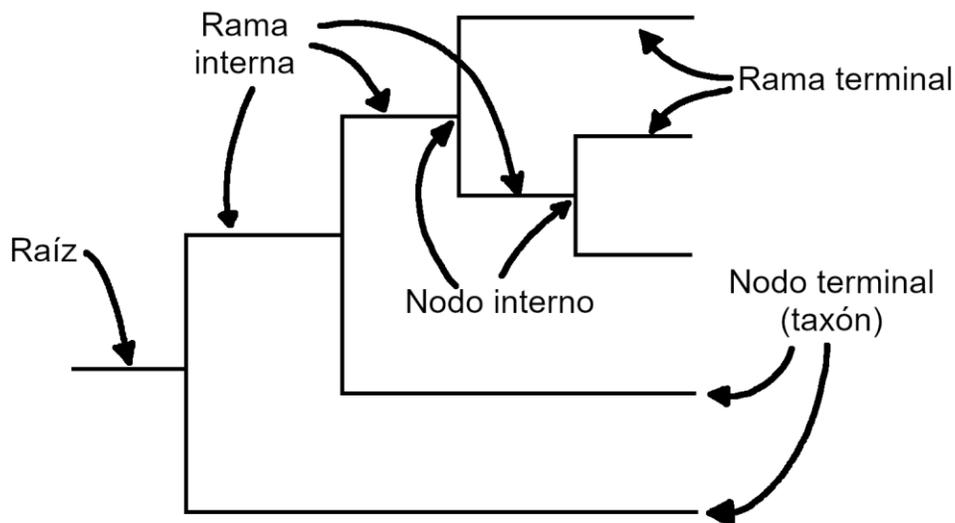


Figura 15. Un árbol filogenético (cladograma) y sus partes.

El objetivo de los estudios detrás de estos árboles filogenéticos es aclarar las relaciones evolutivas de los distintos grupos biológicos, pero una de las condiciones es que se deben obtener únicamente grupos naturales y se deben excluir grupos artificiales. Un grupo natural es aquel que incluye a un ancestro común y a todos sus descendientes, estos grupos se conocen como monofiléticos. Los grupos artificiales pueden ser aquellos que contienen al ancestro, pero excluyen a algunos descendientes, llamados parafiléticos, o aquellos que están conformados por varios ancestros, denominados polifiléticos.

Como ejemplo de monofilia se puede tomar al género *Panthera*, incluye al ancestro que dio origen al grupo y a todos los descendientes: *Panthera pardus* (leopardo), *P. leo* (león), *P. onca* (jaguar), *P. uncia* (leopardo de las nieves) y *P. tigris* (tigre) además de las seis especies que ya se extinguieron (Figura 16).

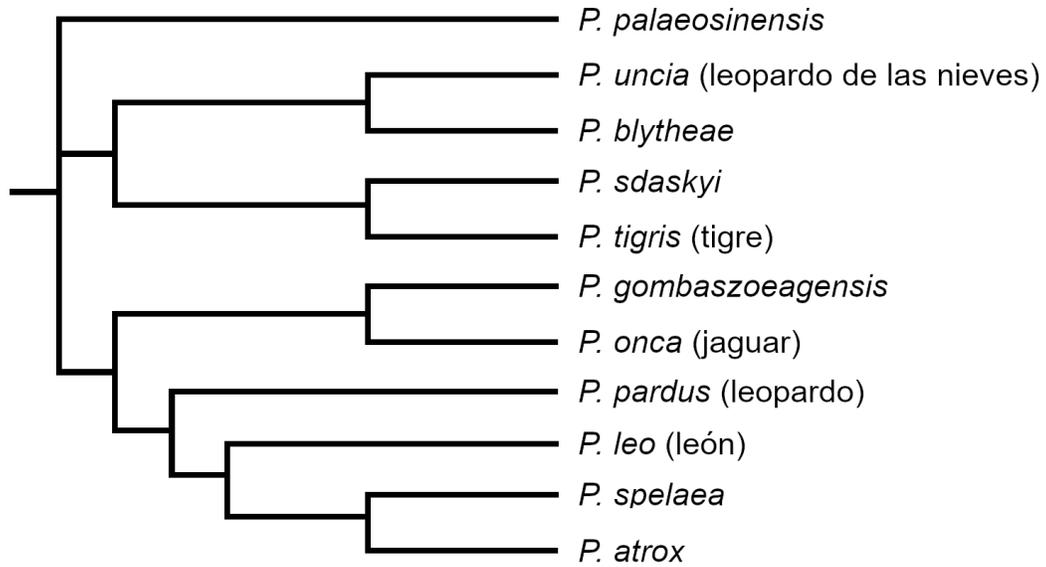


Figura 16. Árbol filogenético del género *Panthera*. Se muestra la monofilia incluyendo a la especie ancestral en la raíz y a todos los descendientes. Modificado de Piras *et al.*, 2018.

Para ejemplificar la parafilia se puede recurrir al ejemplo de los reptiles. Tradicionalmente se trata a reptiles al nivel taxonómico de Clase, a las aves también se les trata a este nivel. Si se observa su árbol filogenético se aprecia que el grupo de los reptiles contiene al ancestro y a casi todos los descendientes, pero sí excluye a algunos. Con base en esto se puede afirmar que las aves son reptiles, pero no solo eso, sino que son los dinosaurios que sobreviven hasta nuestros días (Figura 17). Si se hiciera este ejercicio para vertebrados se aprecia que todos los vertebrados terrestres están dentro de los peces, incluyendo a los humanos.

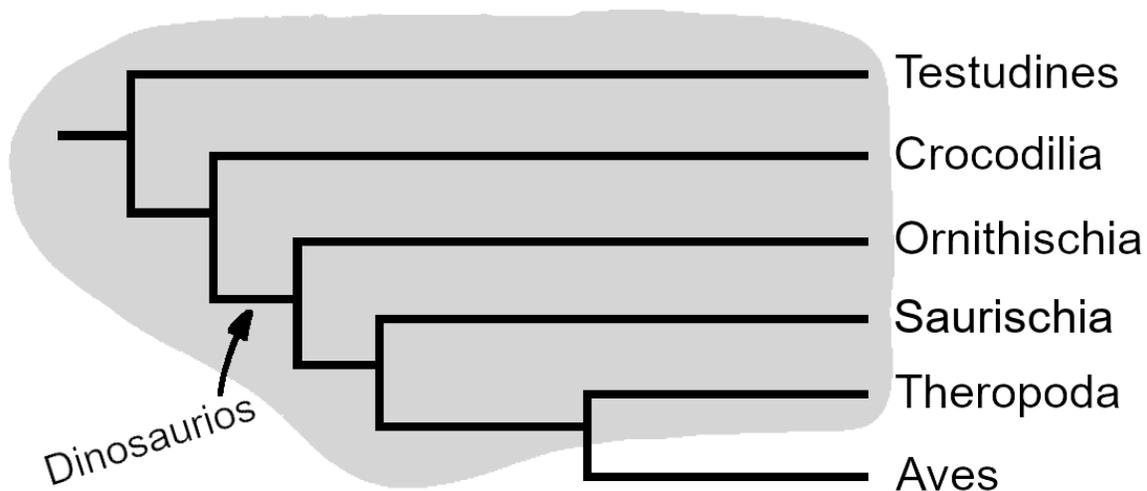


Figura 17. Árbol filogenético de Reptiles. La zona sombreada indica a los grupos incluidos tradicionalmente en Reptilia, al excluir a Aves queda como un grupo parafilético. La flecha indica en donde surgen los dinosaurios. Testudines: tortugas; Crocodilia: cocodrilos; Ornithischia: dinosaurios como ceratópsidos, estegosaurios y anquilosaurios; Saurischia: dinosaurios de cuello largo; Theropoda: dinosaurios como tiranosaurios, velociraptores y oviraptores.

Para ejemplificar a los grupos polifiléticos se puede recurrir a un término muy cotidiano: “bicho”. Este grupo de “bichos” incluye procariontes y eucariontes. Se usa para designar bacterias que provocan infecciones, gatos, cochinillas, toros, orugas de mariposas, escarabajos, arañas y cuantas formas de vida más, todas con distintos orígenes en el árbol de la vida. Otro grupo es el de “gusano”, refiere a larvas de muchos insectos, nemátodos, anélidos, platelmintos, rotíferos, onicóforos, nematomorfos y cualquier otro grupo cuya forma de cuerpo sea cilíndrica, delgada, pero sin escamas.

Ya con las partes explicadas y el objetivo establecido se puede proceder a plantear uno. Actualmente se emplean datos morfológicos, genéticos, ecológicos, etológicos y cualquier otro tipo de información comparable que se pueda obtener de las especies. El primer paso es encontrar un carácter que sea común a la mayoría, aunque modificado y que descienda de un ancestro, esto es una homología; lo importante es evitar lo más posible las homoplasias (antes llamadas analogías), pues pueden provocar resultados incorrectos

Si se fueran a aplicar el método de Hennig para armar un árbol se deben hacer subcladogramas con los taxones a trabajar y luego unificarlos en uno que implique el menor número de pasos (parsimonia). Sus reglas son la del agrupamiento, que dice que solo las homologías proporcionan evidencia de relaciones evolutivas; la de inclusión-exclusión, que permite combinar información si permite aceptar o rechazar grupos; y la regla de la homoplasia, en la que no hay que asumir convergencia.

Un ejemplo de esta argumentación hennigiana se presenta en la figura 18. En la matriz de datos hipotética se tienen las especies A, B, C, D y E además de los caracteres 1, 2, 3, 4, 5 y 6; los 0 indican ausencia y los 1 presencia. Siguiendo las reglas se obtienen los sub-cladogramas pequeños. Al juntarlos todos se obtienen las relaciones entre las especies hipotéticas. Resalta la presencia de una homoplasia, un carácter que surgió independientemente entre B y C que los unió en el sub-cladograma g.

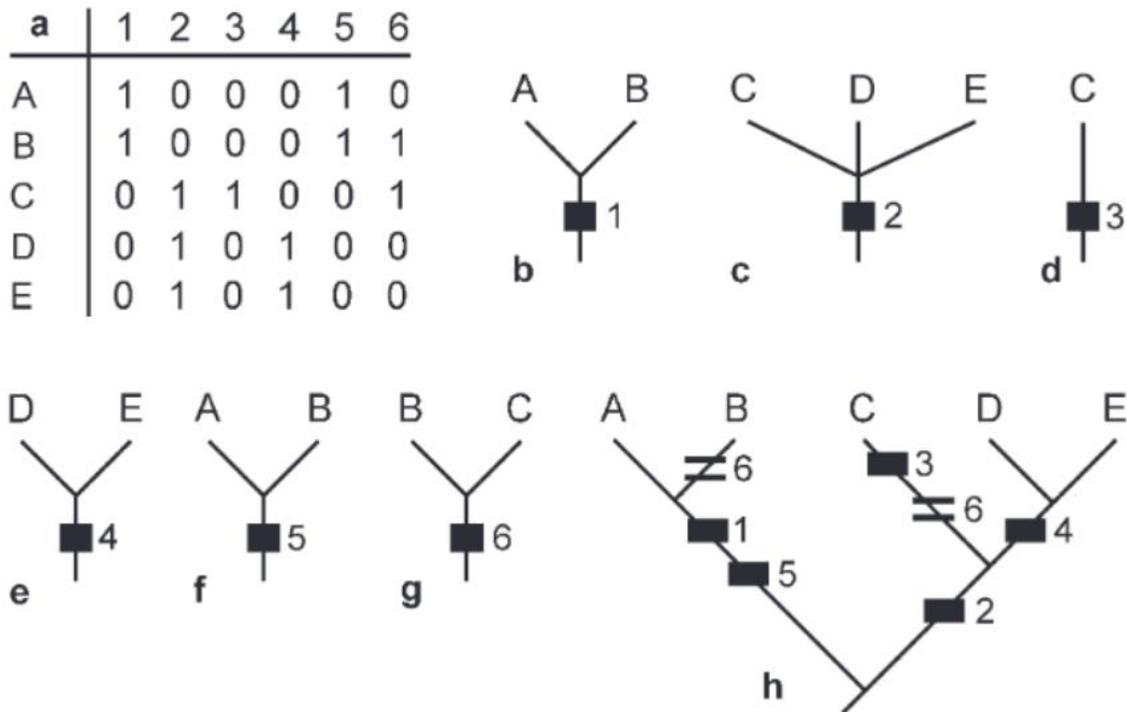


Figura 18. Ejemplo de argumentación hennigiana. a) matriz de datos, el 1 representa un carácter presente y 0 uno ausente; b-g) sub-cladogramas resultado de los caracteres en la matriz; h) cladograma final. El ■ indica las homologías propuestas y el número adjunto es el número de carácter, el = indica la presencia de homoplasias y el número adjunto es el número de carácter. Modificado de Morrone, 2013.

La mayor fuente de información es la genética. Actualmente se intentan implementar genomas completos para poder esclarecer estas relaciones evolutivas y plantear los árboles filogenéticos. Si se intentara únicamente con esta argumentación hennigiana sería casi imposible. Es por eso que al día de hoy hay métodos más avanzados que implementan distintos tipos de algoritmos, estadística, relojes moleculares, etcétera, para usar toda la evidencia disponible y obtener árboles filogenéticos que reflejen mejor la historia evolutiva de la vida en nuestro planeta.

Actividades

En el siguiente árbol filogenético se muestran los caracteres que fueron surgiendo. Ordena los siguientes grupos biológicos en donde corresponde según sus relaciones filogenéticas marcadas por los caracteres: paloma, chimpancé, salamandra, lagartija y ratón.

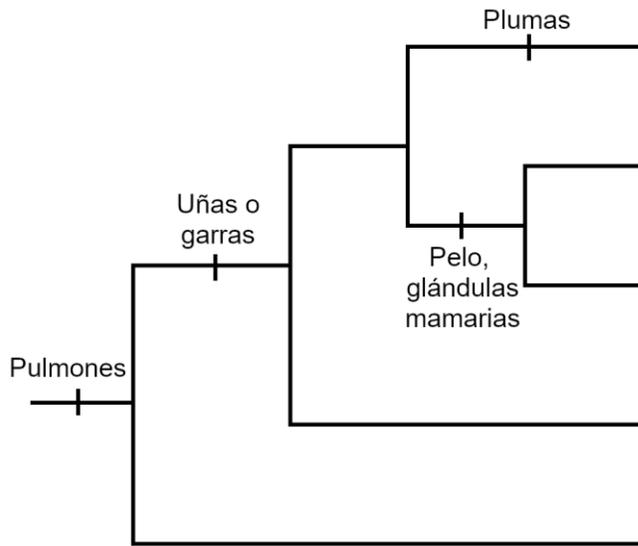


Figura 19. Ejercicio de árbol filogenético. Grupos biológicos a ubicar: paloma, chimpancé, salamandra, lagartija y ratón.

A partir de la siguiente matriz elabora un árbol filogenético implementando la argumentación hennigiana, usa como guía lo que se muestra en la figura 18.

Tabla 4. Matriz con datos morfológicos del filo Chordata

	Notocorda	Mandíbulas	Huesos duros	Pulmones	Aletas	Patas	Amnios	Glándulas mamarias	Escamas de queratina	Vértebras externas	Huesos huecos	Plumas
Pez bruja	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tiburón	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Caballito de mar	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pez pulmonado	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Rana	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Gato	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Cacomixtle	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Tortuga	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
Tiranosaurio	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
Quetzal	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema I. Caracterización de la biodiversidad.

Niveles de la biodiversidad

Aprendizaje: Analiza los niveles genético, ecológico y biogeográfico de la biodiversidad.

Sugerencias de evaluación

A manera de evaluación diagnóstica se sugiere preguntar a los alumnos que es lo que entienden por biodiversidad, en donde se puede percibir la biodiversidad, que son los genes, que son los alelos, que es un ecosistema, como se diferencian los ecosistemas.

La evaluación formativa se puede realizar pidiendo a los alumnos que dibujen un mapa del mundo con las regiones biogeográficas que pueden ver en la Figura 20, y que en cada zona señalen: 1) los ecosistemas que ahí se pueden encontrar, 2) algunas especies que se pueden encontrar en cada ecosistema y 3) variaciones dentro de algunas de esas especies.

Lectura

La biodiversidad es la variedad y variabilidad de la vida en la Tierra. Pero esta definición no siempre es sencilla pues se puede estar haciendo referencia a distintos elementos de esta vida en la Tierra. De forma general se suele referir a la gama de especies que existen, pero también se refiere a las diferentes especies y ecosistemas. Para poder tener un entendimiento profundo de estos niveles también hay que comprender los procesos evolutivos que hay detrás de la diferenciación de genes, la de especies y la de ecosistemas. Esto es posible gracias a una rama de la Biología llamada Biogeografía. Gracias a esta rama podemos separar al mundo en grandes regiones que reflejan patrones de los tres niveles y entender como han ido evolucionando.

Nivel genético

La diversidad genética es el número total de características genéticas de cada una de las especies que hay en el planeta. Esto se puede apreciar al pensar en distintos individuos de una especie, por ejemplo, los perros. Tienen genes que determinan sus formas, tamaños, colores y más características, pero ninguna de ellas es igual porque, aunque se trate del mismo gen, hay diferencias que van a hacer a unos más grandes, más oscuros, más orejones, etcétera.

A mayor diversidad genética las especies tienen mayores probabilidades de sobrevivir a los cambios del ambiente y a las presiones de selección que esto conlleva pues refleja una mayor probabilidad de adaptarse. Un ejemplo hipotético de esto puede ser una planta. Algunas tienen genes o alelos que les permiten realizar sus procesos con poca agua y a otras les permiten realizar sus procesos, pero con mucha agua. Si por un cambio en el ambiente llega un periodo de sequía solo un grupo de plantas sobreviviría, el que tiene los genes o alelos para usar poca agua. Esto se puede plantear para muchas características de muchos grupos.

Si una especie tiene menor diversidad genética va a presentar menos herramientas genéticas que le ayuden a enfrentar los cambios en el entorno y puede llevarla a la extinción. Para ejemplificar esto se puede tomar el caso de los plátanos y la enfermedad de Panamá. Causada por el hongo *Fusarium oxysporum* resistente a fungicidas y que provoca que las plantas colapsen y propagada por tierra y agua. Se detectó en los 1950's en Panamá y ha ido afectando plantíos en todo el mundo. Los plátanos que se consumen son un híbrido que se han reproducido de forma asexual por su triploidía que impide la gametogénesis, al no haber reproducción sexual se puede decir que todos los plátanos son clones con casi nada de diversidad genética. Entonces no hay individuos que tengan las herramientas genéticas para poder combatir la enfermedad y poco a poco se dificulta más el suministro de plátanos del mundo.

La diversidad genética se ha empleado más en estudios de genética de poblaciones y procesos evolutivos, pero se ha determinado que la diversidad genética tiene efectos ecológicos importantes. Ayuda a la capacidad de regeneración de las poblaciones cuando ocurre un disturbio en el medio. Esto significa que la diversidad genética dentro de una especie es necesaria para mantener la diversidad entre las especies y viceversa

Nivel ecológico

Este nivel se refiere a la diversidad de comunidades que interactúan entre sí y con sus entornos químicos y físicos en una determinada región geográfica, es decir, la diversidad de ecosistemas que hay en un lugar.

Estas relaciones entre factores bióticos y abióticos, o ecosistemas, pueden presentarse a diferentes escalas. La más fácil de identificar es a una escala grande, si se piensa en un bosque, por ejemplo, pero dentro de este ecosistema grande se pueden hallar muchos pequeños. Un solo árbol de ese bosque puede representar todo un ecosistema más pequeño en donde interactúan diferentes grupos biológicos con sus propias condiciones en las raíces, en el tronco, en las hojas, etcétera.

Esta diversidad de ecosistemas se debe a las diferentes condiciones climáticas y biogeográficas que ocurren en cada lugar y a su interacción a través del tiempo con las especies que ahí habitan y van adquiriendo adaptaciones para sobrevivir en ese entorno. Esto se aprecia al comparar dos ecosistemas distintos: el desierto y la tundra; los factores

abióticos de ambos son claramente distintos tanto en temperatura como en la cantidad de agua, la diferencia en los factores bióticos se aprecia de primera instancia en el tipo de vegetación de cada ecosistema e incluso en el número de individuos que hay presentes.

A través del tiempo estos han ido cambiando, pues los continentes no son estáticos y los climas van cambiando. Para descubrir estos cambios se usa la biogeografía histórica. Los que se presentan actualmente se pueden clasificar de distintas maneras, la que usa la CONABIO para clasificar los ecosistemas presentes en México incluye los bosques nublados, bosques templados, matorrales, selvas húmedas, selvas secas, manglares, arrecifes, praderas de pastos marinos, entre otros (CONABIO, 2021)

Nivel biogeográfico

El nivel de diversidad biogeográfica alude a todas las distintas regiones biogeográficas que hay en el planeta. Una región biogeográfica es una zona en la que se agrupan distintos taxones y sus características a través del tiempo y del espacio. Esto significa que es el área en la que se forman patrones de las diferentes especies de plantas, animales y otros grupos porque sus ancestros evolucionaron en esa zona o migraron a otras en donde se encuentran actualmente.

Estos patrones que también incluyen los diferentes genes, taxones y climas involucran procesos ecológicos y evolutivos, pero como resultado de su estudio se han podido diferenciar cuatro Reinos biogeográficos: Holártico que incluye casi todo el hemisferio norte, Holotropical que es casi todo el hemisferio sur, Austral que comprende a Australia con la parte más sur de América y África con la Antártica, y por último las Zonas de transición (Morrone, 2015). Pero la clasificación más empleada es la de ocho regiones biogeográficas: Neártica, Neotropical, Paleártica, Afrotropical, Indomalaya, Australasia, Oceánica y Antártica (Olson *et al.*, 2001) cuyo mapa se aprecia en la Figura 20. La región Oceánica señala a las islas que se encuentran en el Océano Pacífico

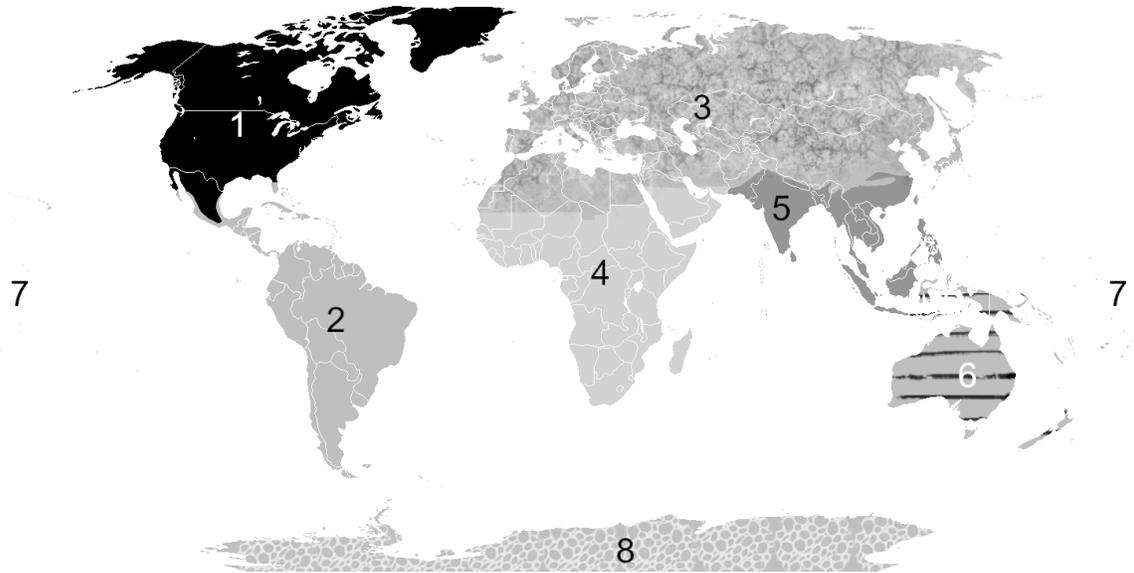


Figura 20. Regiones biogeográficas del mundo. 1) Neártica, 2) Neotropical, 3) Paleártica, 4) Afrotropical, 5) Indomalaya, 6) Australasia, 7) Oceánica, 8) Antártica. Modificado de Wikimedia Commons

Actividades

Haz un organizador gráfico en el que indiques los aspectos relevantes de cada nivel de diversidad y que muestre también la relación que hay entre estos niveles.

Posteriormente en el mapa que se presenta a continuación (Figura 21) indica algunas de las regiones en las que se presentan los ecosistemas que menciona la CONABIO (son más que se mencionaron en el texto).



Figura 21. Mapa de México, tomado de Wikimedia Commons

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema I. Caracterización de la biodiversidad.

Patrones de la biodiversidad

Aprendizaje: Contrasta los patrones taxonómicos, ecológicos y biogeográficos de la biodiversidad.

Sugerencias de evaluación

En la evaluación diagnóstica se recomienda llevar a cabo una lluvia de ideas con el alumnado. La guía para esta actividad serían las preguntas: ¿Qué es un patrón? ¿Qué es un patrón de biodiversidad? ¿Qué es taxonomía? ¿Qué es un ecosistema? ¿Cómo se separa un ecosistema de otro? ¿Qué es la biogeografía? ¿Cómo se separa una región biogeográfica de otra?

Para poder llevar a cabo la evaluación formativa se recomienda implementar el mapa conceptual de la actividad de este aprendizaje, que el alumnado intercambie sus trabajos y que otorguen una crítica constructiva al trabajo que revisan y asignen un número conforme consideren apropiado.

Lectura

La biodiversidad en el planeta se distribuye de una manera irregular. Esto es que no se encuentra que la distribución de una especie sea un círculo en el mapa, o un rectángulo, sino que estas distribuciones se pueden encontrar como manchas sin forma, manchas discontinuas que se interrumpen por ríos, montañas, incluso mares.

Estos patrones irregulares se pueden abordar de distintas maneras. Se pueden estudiar las distribuciones de las especies y las de los ecosistemas. A esto se puede incorporar el estudio de una escala mayor y también a través del tiempo, entonces se habla de patrones biogeográficos. La base de todo esto es el conjunto de patrones que presentan las especies. Los factores a los que se les puede asociar, y que derivan en distintas clasificaciones, son los océanos, continentes o partes de ellos, posición geográfica, y afinidad biogeográfica

Patrones taxonómicos

Todas las formas de vida se intentan acomodar dentro de una clasificación que se maneja por niveles, entre más arriba esté el nivel es más incluyente y entre más abajo esté será más

excluyente. La categoría que se encuentra hasta arriba es la de Dominio que incluye a tres grupos que contienen a todas las formas de vida: Bacterias, Arqueas y Eucariontes, cada uno de estos dominios se puede dividir en categorías que ayudan a separar a más grupos dentro, cada uno de estos grupos se puede dividir de nuevo y así sucesivamente. La lista de niveles de superior a inferior es: Dominio, “Reino” o supergrupo, Filo, Clase, Orden, Familia, Género y Especie.

Cuando se habla de patrones taxonómicos se puede estar refiriendo a cualquiera de estos niveles mencionados previamente. Se puede referir a la distribución en una zona y tiempo determinados de especies, o de familias o a la de clases. Un ejemplo de estos patrones puede ser la distribución actual del Orden Monotremata (ornitorrincos y equidnas), al día de hoy se les encuentra únicamente en Australia y Nueva Guinea. Este ejemplo se puede contrastar con el Orden Coleoptera (escarabajos) que se encuentran en todo el mundo menos en la Antártida ni en los picos de las montañas más altas del mundo.

Este mismo ejercicio se puede realizar, como ya se mencionó, a cualquier nivel taxonómico. A nivel de especie se puede contrastar a *Selasphorus rufus* (colibrí rufo) y *Eupherusa cyanophrys* (colibrí miahuatleco), la primera se puede encontrar actualmente en Canadá, Estados Unidos, México y algunas islas del Caribe mientras que la segunda es endémica de una región montañosa del estado de Oaxaca en México y además está en peligro de extinción.

Otro tipo de patrón que se puede observar y estudiar es el gradiente latitudinal de biodiversidad. Se refiere a la disminución de la diversidad en relación con la latitud, es decir, entre más lejos se encuentre la zona del ecuador menos diversidad tendrá; se aprecia al comparar la diversidad de una selva ecuatorial con el polo Norte o el Sur.

Este tipo de patrones se expresan generalmente en mapas y se pueden cuantificar, pero para eso debe haber un gran esfuerzo de muestrear la zona para posteriormente clasificar e identificar a los organismos recolectados. Una vez que se tiene esto se pueden hacer algunos cálculos para obtener índices de diversidad, pero algunos de estos se abordarán en el siguiente aprendizaje.

Patrones ecológicos

Los organismos vivos son sistemas individuales dinámicos que se mantienen a sí mismos mediante sus procesos vitales como crecimiento, nutrición, respiración, etcétera. Es evidente que ninguno de estos organismos podría funcionar sin algún tipo de intercambio con su medio. Estas interacciones son la base de la ecología.

Cada especie y cada individuo va a tener diferencias en cómo está relacionando con su medio: diferencias en las ondas de luz que usan para la fotosíntesis, diferentes formas de obtener alimento, distintos tipos de estrategias defensivas y de depredación. Estas interacciones pueden ser benéficas, neutrales o dañinas. Todos estos elementos están

formando una intrincada red en la que se ven involucrados los productores primarios que generan gran parte de la biomasa y de la arquitectura del medio, consumidores herbívoros y carnívoros que aportan a la red trófica, y los descomponedores que explotan la energía residual de cadáveres; pero al final dependen de los recursos básicos: luz, agua y carbón.

Variaciones de estos elementos irán formando los patrones que dan origen a los distintos tipos de ecosistemas. Por ejemplo, si la disponibilidad de agua es en extremo limitada, la luz es demasiada y los nutrientes en el suelo son muy pocos se reflejarán en pocos individuos en el ambiente, es decir, un desierto. Si se tiene un poco más de agua y nutrientes incrementa ligeramente la cantidad de individuos, y tal vez se pueda hablar de un matorral xerófilo. Otro ejemplo en el cambio de estos patrones puede ser que haya disponibilidad de luz y nutrientes suficientes, pero agua en exceso, esto ya puede ser un lago o un estuario.

Este último ejemplo muestra un punto importante al observar los patrones: hay que ver el panorama completo, pues si se quiere observar de manera individual cada elemento del medio estos patrones no serán evidentes y no se podrán diferenciar lagos de estuarios, bosques caducifolios de bosques perennes, etcétera.

Patrones biogeográficos

Estos son los arreglos que se van repitiendo por el pasado evolutivo de las especies que se reflejan en sus distribuciones, linajes y clados. Hay distintos tipos, como los de riqueza y distribución, variables ecológicas relevantes y funcionales, y de homología espacial. Esto suena muy similar a los dos tipos de patrones previamente mencionados, pero la parte biogeográfica implica una escala más grande y también implica las razones evolutivas que dan como consecuencia lo que se aprecia al día de hoy

Esto significa que, para concebir estos patrones, antes se deben entender los patrones de riqueza y distribución de las especies. Uno mencionado previamente es el de la disminución de la diversidad de especies a medida que se mueve hacia los polos, las razones detrás de esto pueden ser la edad de la comunidad, la heterogeneidad espacial del ambiente, la estabilidad del clima y la tasa de producción del ecosistema desde millones de años atrás hasta el día de hoy.

Como resultado de estos procesos histórico-evolutivos, la ciencia ha podido clasificar la distribución de especies y de ecosistemas en ocho regiones biogeográficas. Estas ya se han mencionado y señalado en la Figura 20 en el aprendizaje anterior.

Actividades

Con la lectura que acabas de realizar elabora un mapa conceptual. Posteriormente intercambia tu mapa con alguno de tus compañeros y anotas qué consideras que le falta, o

que le sobra, o alguna modificación que puede mejorar su trabajo. Finalmente le asignas una calificación considerando que el trabajo puede mejorar

En el siguiente mapa de México (Figura 22) señala los patrones taxonómicos (distribuciones) de las siguientes especies: *Tagetes erecta*, *Taxodium mucronatum*, *Ambystoma altamirani* y *Odocoileus virginianus*.



Figura 22. Mapa de México, modificado de Wikimedia Commons.

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema I. Caracterización de la biodiversidad.

Tipos de diversidad

Aprendizaje: Relaciona los tipos y la medición de la biodiversidad con el concepto de megadiversidad.

Sugerencias de evaluación

Al abordar diversidad alfa, beta y gama en este aprendizaje, se sugiere pedir al alumnado una investigación previa. Con o sin esta investigación se sugiere abrir con la pregunta ¿qué es biodiversidad? Y continuar con la pregunta ¿cómo se mide la biodiversidad?, dar unos minutos para que reflexionen en sus respuestas y que elaboren un breve organizador gráfico a manera de diagnóstico

Como evaluación formativa se recomienda que, una vez realizadas las actividades del aprendizaje, se pida al alumnado que tomen nota de cuantas plantas distintas encuentran y sus características en tres jardineras distintas. Con esta información obtengan la diversidad α para cada jardinera y la β entre cada una de las jardineras. Una vez realizado pedir que intercambien sus ejercicios, basándose en las plantas faltantes y corroborando los cálculos de sus compañeros los alumnos emitirán la calificación que crean adecuada.

Lectura

Si uno imagina que va caminando por un paisaje natural, por ejemplo, un bosque, se puede apreciar que hay muchas formas de vida distintas. Hay varias especies de plantas, animales, hongos, y muchas otras de grupos que no vemos a simple vista. En este sitio va a haber unas pocas especies que dominan el paisaje y otras muy escasas, esto es que va a haber muchos ejemplares de unas especies y muy pocos de otras. El conjunto de especies distintas se llama riqueza específica, y la cantidad de individuos de cada especie se llama abundancia.

Debido a la forma de vida de los humanos actualmente se presenta una pérdida acelerada de la biodiversidad. Una de las mejores formas con las que se cuenta para poder iniciar los esfuerzos de conservación tan necesarios es cuantificar la biodiversidad, tanto la diversidad como la riqueza, y con esto se pueden mejorar las estrategias.

Hay tres niveles de diversidad que se pueden cuantificar: la diversidad α (alfa), la diversidad β (beta), y la diversidad γ (gama). La primera se define de manera sencilla como el número

de especies presentes en un lugar determinado, la segunda se define como la diferencia de especies que hay entre dos localidades, y la última se define como el número de especies del conjunto de sitios que integran un paisaje.

Si se estudian todas las zonas aún preservadas de México, la diversidad alfa va a ser increíblemente alta, la diversidad beta va a demostrar que de sitio a sitio el recambio de especies también es demasiado, englobando estas dos obtenemos que la diversidad gama del país es tan alta que se considera uno de los 17 países megadiversos que hay en el planeta

Diversidad α

Para cuantificar la diversidad alfa se hace uso de varios índices. Los tres principales son el índice de Shannon, el de Simpson y la Diversidad Verdadera. El índice de Shannon cuantifica la entropía o incertidumbre de que salga una determinada especie aleatoria de una muestra; por lo general su valor puede oscilar entre 2 y 3, si se obtiene un valor inferior a 2 se considera una diversidad baja y si es mayor a 3 se considera una alta diversidad. Para calcularlo tenemos la siguiente fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$$
$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

S es el número de especies

p_i es la abundancia relativa

n_i es el número de individuos de la especie

N es el número total de individuos

El índice de Simpson también nos va a representar una medición de la diversidad de especies tomando en cuenta un número determinado de especies presentes y su abundancia relativa. Este indica la probabilidad de que dos individuos tomados al azar dentro de la zona pertenezcan a la misma especie. Entre más se acerque a 1 el valor existe una menor diversidad, cuanto más se acerque a 0 mayor será la diversidad. Se usa la siguiente fórmula para poder calcularlo:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

S es el número de especies

n el número de ejemplares por especie

N es el total de organismos presentes

Ambos índices mencionados previamente, son eso, índices, y no reflejan de manera directa la diversidad, aunque esto no les resta valor. La mejor manera de hacerlo es con valores que expresen la diversidad en números de especies efectivas, o en “diversidad verdadera” como se le denominó. Dentro de este tipo de medida se pueden tomar en cuenta las especies comunes y raras ($q=2$), se puede tomar solo la riqueza de especies ($q=0$), o un punto intermedio ($q=1$). Para obtener esta última se parte del índice de Shannon y se eleva al exponente como se indica en la siguiente fórmula:

$${}^1 D = \exp\left(-\sum_{i=1}^s p_i \ln p_i\right)$$

El superíndice previo a D indica que $q=1$

Los demás elementos se indicaron en la fórmula de Shannon

Diversidad β

Para cuantificar la diversidad beta, o el grado de similitud que hay entre dos comunidades, uno de los índices mayormente utilizados es el de Jaccard. Este va a usar el número de especies que hay que se encuentran presentes en ambas comunidades en relación con el número de especies que no se comparten. Esto significa que primero se debe obtener la diversidad α (riqueza específica o número de especies) de dos zonas que se quieran comparar. Con esta información se necesita contar cuantas especies se encuentran presentes o compartidas en ambas zonas de interés. Si al hacer el cálculo el resultado tiende hacia el 0 significa que las comunidades son más distintas, pero si tiende a 1 entonces las comunidades son más similares. La fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$D_j = \frac{c}{(a + b - c)}$$

a es el número de especies de la zona a

b es el número de especies de la zona b

c es el número de especies que se comparten en a y b

Diversidad γ

Ya se mencionó que este tipo de diversidad es el que se presenta a la escala de paisaje. Esto es que hay varias zonas “pequeñas” cuya diversidad se va estudiando o estimando, y al juntarlas se obtiene la diversidad del paisaje. La escala del paisaje puede variar, cada una

de las zonas “pequeñas” puede referir a un ecosistema completo o a un conjunto de elementos dentro de un ecosistema. Para comprender este tipo de diversidad también hay que comprender que depende de los procesos de biogeografía histórica en conjunto con las diversidades α y β .

En ocasiones, por los elementos mencionados, la diversidad α más alta de entre todas las zonas puede llegar a representar la mayoría de la diversidad γ . Entonces estimando la primera se puede tener una idea de la segunda. De manera práctica se ha implementado la riqueza específica de cada una de las zonas que comprenden al paisaje mientras que con la similitud entre zonas se explican las distribuciones (Arellano y Halffter, 2003).

Actividades

Formas parte de un laboratorio que se dedica a estudiar la biodiversidad del país. Todo tu laboratorio sale a campo a distintos puntos del país y regresa con las muestras de plantas de varias localidades. Con los datos que se presentan a continuación calcula la diversidad α usando el índice de “diversidad verdadera”.

Diversidad α

Zona 1	Ejemplares	Zona 2	Ejemplares
<i>Citrus limon</i>	5	<i>Agave tequilana</i>	7
<i>Cassia didymobotyra</i>	4	<i>Aloe vera</i>	3
<i>Datura candida</i>	12	<i>Cassia didymobotyra</i>	12
<i>Euphorbia milli</i>	2	<i>Cephalocereus senilis</i>	5
<i>Hedera hélix</i>	15	<i>Echeveria pumila</i>	15
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	4	<i>Euphorbia milli</i>	6
<i>Liquidambar styraciflua</i>	7	<i>Opuntia ficus indica</i>	20
<i>Schinus molle</i>	6	<i>Yucca filifera</i>	17

Zona 3	Ejemplares
<i>Cassia didymobotyra</i>	1
<i>Cratageus mexicana</i>	6
<i>Fargesia rufa</i>	7
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	8
<i>Malus domestica</i>	6
<i>Pinus sp.</i>	21
<i>Prunus persica</i>	8
<i>Pyrus communis</i>	7

Diversidad β

Una vez calculada la diversidad α el equipo de investigación puede iniciar a hacer las comparaciones entre las distintas zonas y poder saber si se tratan de sitios homogéneos o de heterogéneos. Llena la Tabla 4 con los índices obtenidos, posteriormente indica cuales zonas se asemejan más y cuales menos

Tabla 5. Se muestran las zonas de estudio en ambos ejes. Aquí se señalará el índice entre las distintas zonas

		Zona		
		1	2	3
Zona	1			
	2			
	3			

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema II. Biodiversidad de México.

Factores que explican su megadiversidad

Aprendizaje: Comprende los factores que determinan la megadiversidad de México.

Sugerencias de evaluación

A modo de evaluación diagnóstica se puede pedir al alumnado que en equipos discutan por unos minutos lo que piensan a partir de las preguntas ¿Qué es megadiversidad? ¿Cuál es el origen de la megadiversidad? ¿Cuál es la biodiversidad de México? ¿Por qué esta biodiversidad hace a México megadiverso? Después, cada equipo presenta ante el grupo sus respuestas de forma breve.

Para la evaluación formativa se sugiere pedir al alumnado que en los equipos que formaron para el diagnóstico elaboren un organizador gráfico en el que expongan las causas de la megadiversidad de México. Posteriormente se presenta ante el grupo y es este último quien asigna una calificación.

Lectura

En últimas fechas (para 2021) dos memes entre biólogos han alcanzado una difusión extraordinaria. El primero es contestar “depende de la especie”, y el segundo es que todo biólogo al iniciar un texto como ensayo o tesis lo debe hacer con la frase “México es un país megadiverso”. Es esta segunda frase la que se abordará a continuación.

En efecto, México es un país megadiverso por diversas razones, pero antes de dar sus explicaciones se debe entender qué significa “megadiverso”. Un país megadiverso es aquel que todos sus niveles de diversidad son altos, tienen alta riqueza específica, sus zonas son muy distintas entre sí y el paisaje en general es muy diverso y la diversidad genética también es alta. De los 193 países reconocidos por la ONU, son 17 los que cumplen con estas características de máxima diversidad biológica (Figura 21). Es entre estos que se puede encontrar el 70% de las especies que se conocen en el mundo.



Figura 21. Mapa del mundo con los 17 países megadiversos señalados con el tono oscuro.
Modificado de Wikimedia Commons.

México se encuentra en el 4º lugar de estos 17 países (CONABIO, 2008). La razón de esta megadiversidad es por su gran rango de climas, que derivan de la fisiografía y la biogeografía. Comenzando por los climas, el INEGI señala 18 climas presentes en el país y la clasificación internacional 16. La primera clasificación agrupa en cuatro categorías todos los climas: cálido (4), templado (6), seco (7) y frío (1); la segunda los agrupa también en cuatro categorías similares, pero con distinto nombre: tropical (3), templado (8), árido (4) y polar (1) (Figura 22).



Figura 22. Diferentes climas que se presentan en México. Cada tono de gris representa a uno de los 16 climas distintos en la clasificación de Köppen. Modificado de Beck *et al.*, 2018.

Esta diversidad de climas es provocada por la fisiografía que tiene el país. Desde la parte norte se presentan 3 cordilleras de longitud considerable, la Sierra de California en la península de Baja California, la Sierra Madre Occidental del lado del océano Pacífico en la porción continental y la Sierra Madre Oriental del lado del Golfo de México. En la parte central atraviesa transversalmente el Eje Neovolcánico, ligeramente más al sur se encuentra la Sierra Madre del Sur y al Este de esta se encuentra la Sierra de Chiapas (Figura 23). Todos estos relieves se deben a la actividad volcánica y a la interacción de cinco placas tectónicas: Norteamericana, del Pacífico, Rivera, de Cocos y del Caribe (Figura 24).



Figura 23. Se muestran los sistemas montañosos presentes en México. Modificado de Wikimedia Commons



Figura 24. Placas tectónicas que interactúan en la formación de la fisiografía del país. 1) Placa del Pacífico, 2) Placa de Rivera, 3) Placa Norteamericana, 4) Placa de Cocos, 5) Placa del Caribe. Modificado de Wikimedia Commons.

El último elemento al que se le atribuye esta megadiversidad es la biogeografía. Por la parte de la biogeografía histórica se puede seguir el registro de la flora y fauna neárticas que estaban presentes en las regiones que ahora conforman a México, el surgimiento del Istmo de Panamá y la consecuente migración de flora y fauna neotropical hacia estos territorios, y la neártica hacia el sur. Estos procesos dieron lugar a que actualmente México sea la zona de transición entre estas dos regiones biogeográficas: Neártica y Neotropical (Figura 25); y como en todo ecotono, la diversidad de estas zonas empalmadas se va a incrementar.



Figura 25. Mapa de México en el que se muestran los límites estimados de las regiones biogeográficas. En tono oscuro es la región Neártica y en tono claro la Neotropical. Modificado de Wikimedia Commons.

Actividad

Realiza una investigación documental y rellena la siguiente tabla respecto a la megadiversidad de México. En la columna de Grupo se indica el grupo biológico a investigar, en la columna de Especies en México señalar cuantas especies de ese grupo se encuentran presentes en México, y en la columna de Especies endémicas indica cuantas de las presentes en México son endémicas.

Tabla 6. Algunos grupos biológicos presentes en México para investigar cuantas especies se encuentran en el país y cuantas de esas son endémicas

Grupo	Especies en México	Especies endémicas
Coleópteros		
Himenópteros		
Peces		
Anfibios		
Reptiles		
Aves		
Mamíferos		
Helechos		
Coníferas		
Dicotiledóneas		

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema II. Biodiversidad de México.

Regionalización de la biodiversidad

Aprendizaje: Explica que en el país la riqueza de especies, la abundancia, la distribución y los endemismos determinan la regionalización de la biodiversidad.

Sugerencias de evaluación

A modo de evaluación diagnóstica se sugiere hacer una lluvia de ideas usando como eje los siguientes conceptos: riqueza de especies, abundancia, distribución, endemismos.

Para la evaluación formativa se puede pedir que cada quien elabore un mapa de México señalando las principales cordilleras. En él van a señalar la distribución de al menos 20 especies endémicas indicando el nombre común, el nombre científico y una ilustración de la especie.

Lectura

En todo el mundo se pueden trazar zonas generales de distribución de las especies, el ejemplo a gran escala son las regiones biogeográficas, pero también se puede hacer a una escala menor. Estas distribuciones se van dando por las adaptaciones que presentan ante el medio cambiante y a su historia evolutiva, lo que significa que puede haber grupos biológicos que no tengan parentesco evolutivo cercano, pero compartan zonas de distribución.

Un ejemplo de esto se puede apreciar comparando la flora y fauna que se encuentra en un par de sitios: en el desierto de Sonora y en la reserva de Tehuacán-Cuicatlán se pueden encontrar cactáceas y agaves, por distribución más amplia también se encuentra a *Canis latrans* (coyote). Las relaciones evolutivas de estos grupos son bastante lejanas, las cactáceas pertenecen a las dicotiledóneas, los agaves a las monocotiledóneas, y los coyotes ni siquiera son plantas, pero coinciden sus distribuciones.

Se han planteado varias formas de abordar este tipo de estudios. Una es enfocarse en la distribución de dos o más taxones que compartan distribuciones, lo que lleva a plantear regiones botánicas que se implementan como base para la división de regiones; otra es estudiar el fenómeno en que el número de especies aumenta o la diversidad biológica

incrementa conforme se acercan al ecuador; entre más fría es la zona mayor distribución tienen las especies, en cambio, entre más cálida tiende a restringirse esta distribución. En estos análisis también se deben de tomar en cuenta los endemismos, o especies únicas de una región.

Implementando estos elementos se ha observado que hay una convergencia de linajes del Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Oriental, norte de Oaxaca, Sierras Transístmicas, Tehuacán-Cuicatlán, Depresión del Balsas y vertientes costeras

Para poder aplicar todo esto y poder dividir a México en regiones de biodiversidad se han llevado a cabo esfuerzos desde el siglo XIX usando distribuciones de plantas, anfibios y reptiles, mamíferos, y aves. Humboldt en 1820 hizo la primera regionalización obteniendo tres regiones basándose en la flora, Martens y Galeotti en 1842 modificaron la de Humboldt usando helechos endémicos y otro tipo de información formando ocho subdivisiones, y Fournier en 1871 usó únicamente helechos reconociendo seis zonas. Estos intentos continuaron también a lo largo del siglo XX usando distintos grupos biológicos. Smith en 1941 usó lagartijas del género *Sceloporus* reconociendo 23 provincias biogeográficas, Stuart en 1964 realizó su estudio usando la fauna de vertebrados y obtuvo 16 provincias. En 1978 Rzedowski integra los elementos fisiográficos, climáticos, influencia del humano, posibles orígenes de la flora y los tipos de vegetación presentes actuales, en su análisis presenta 17 provincias. En 2005 y 2006 Morrone propone 14 provincias biogeográficas para México basándose en distintos análisis de grupos de plantas y animales (Figura 26) y estudios posteriores han identificado zonas dentro de estas provincias.

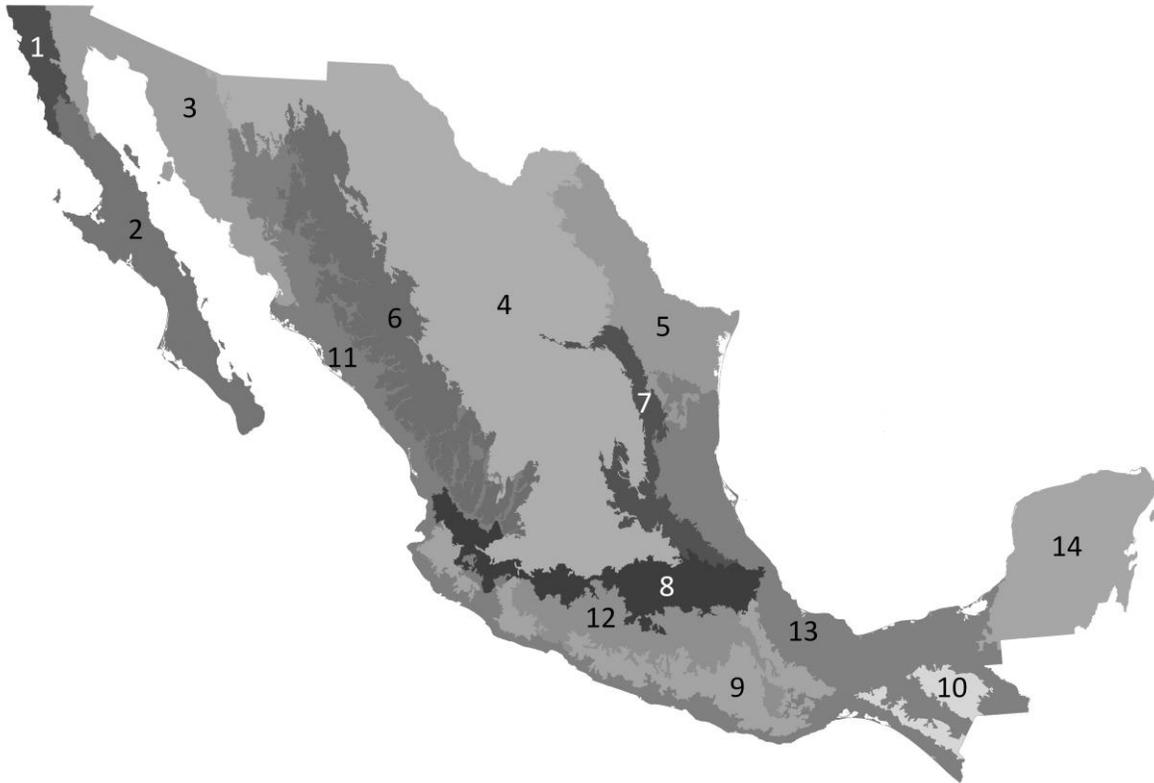


Figura 26. Provincias biogeográficas de México, modificado de Morrone *et al.*, 2017. Provincias Neárticas: 1) Provincia californiana, 2) Provincia bajacaliforniana, 3) Provincia sonorensis, 4) Provincia del desierto de Chihuahua, 5) Provincia de Tamaulipas; Provincias intermedias (Neártica-Neotropicales): 6) Provincia de la Sierra Madre Occidental, 7) Provincia de la Sierra Madre Oriental, 8) Provincia del Cinturón Volcánico Transmexicano, 9) Provincia de la Sierra Madre del Sur, 10) Provincia de las tierras altas de Chiapas; Provincias Neotropicales: 11) Provincia de tierras bajas del Pacífico, 12) Provincia de la cuenca del Balsas, 13) Provincia veracruzana, 14) Provincia de la Península de Yucatán.

Los endemismos son otro elemento a considerar. Para determinar las zonas de endemismo se pueden implementar distintos tipos de estudios, como el Análisis de Parsimonia de Endemismos (PAE por sus siglas en inglés) que permite identificar patrones de endemismos anidados, lo que puede usarse en regionalizaciones biogeográficas. Otra forma de determinar los endemismos es la de “optimización”, mediante un análisis optimizado se evalúa usando un índice de endemidad cuantos taxones son endémicos en un área. La principal aplicación de este tipo de estudios y de determinar las zonas de endemismo es identificar regiones de prioridad en estrategias de conservación de la biodiversidad y uso sustentable, también se pueden usar para rastrear en el tiempo los cambios en estas regiones e intentar predecir que zonas pueden servir como objetivos prioritarios para la conservación en el futuro.

Actividad

En equipo realizar un organizador gráfico usando la información de la lectura. En una sección del organizador, indicar cuál de los elementos consideran más importante para hacer estos mapas de regionalización: riqueza, abundancia, distribución o endemismos.

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema II. Biodiversidad de México.

Factores que afectan la biodiversidad

Aprendizaje: Relaciona los factores naturales y antropogénicos con la pérdida de la biodiversidad.

Sugerencias de evaluación

Para la evaluación diagnóstica se sugiere pedir que entre el grupo entero se haga un listado de las principales causas de la pérdida actual de la biodiversidad.

A manera de evaluación formativa se puede pedir que busquen el mapa digital de México del INEGI y que seleccionen la capa de uso de suelo y vegetación. Esta capa tiene registros de varios años y se puede apreciar el cambio de uso de suelo y vegetación en el tiempo de 1986 a 2014, a partir de estos cambios elaborar un breve texto en el que se expongan las diferencias encontradas y lo que esto representa.

Lectura

La extinción de un taxón es la desaparición de dicho grupo biológico. Puede ser a nivel de especie, género, familia o a cualquier otro nivel de la jerarquía lineana. Una vez que este taxón se va ya no se recupera, y los posibles futuros evolutivos que podría haber tenido también desaparecen. Aunque pueda considerarse como un evento catastrófico se da de manera natural como ya se mencionó al hablar de las cinco extinciones en masa. Ahí se mencionó también que estas se dieron por causas naturales como actividad volcánica o meteoritos y que se daban en un periodo de millones de años. Sin embargo, la humanidad está enfrentándose a la sexta extinción masiva, la cual no es provocada por factores naturales ni se está tardando millones de años. La está provocando la misma humanidad en unos cuantos cientos de años y esto es causa de preocupación entre los biólogos.

Pero ¿Qué ha hecho la humanidad que pueda compararse con estas catástrofes globales? Son varios factores, pero se puede resumir en el pobre aprovechamiento que la humanidad les ha dado a los recursos naturales. Tan solo en el año 2020 se declararon extintas 169 especies incluyendo al menos 4 mexicanas: *Agave lurida*, *Deppea splendens*, *Faramea chiapensis* y *Furcraea macdougallii* (Figura 27).



Figura 27. Fotografías de tres especies extintas en México en el 2020. a) *Agave lurida* (imagen de naturalista.mx), b) *Deppea splendens* (imagen de Wikimedia Commons), c) *Furcraea macdougalii* (imagen de naturalista.mx).

El principal reflejo de este mal manejo se aprecia en la destrucción de hábitats en todo el mundo, y es esta pérdida la causa número 1 de extinción de especies actualmente. De manera histórica los distintos tipos de suelos y vegetaciones se han transformado por las sociedades para dar lugar a suelos agrícolas y poder soportar el crecimiento de las mismas.

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura) desde 1990 hasta 2020 se han perdido 420 millones de hectáreas de bosques, esta superficie es un poco más de dos veces la superficie total de México de bosques que se han derribado para redestinar ese suelo. Y tan solo en el periodo de 1990 al 2000 México fue el país número 5 en pérdida de bosques. Además, se han hecho estudios en los que se muestra que la pérdida y perturbación de hábitat provoca una mayor pérdida de biodiversidad que la que antes se pensaba

Esta pérdida también tiene otras causas aparte de las mencionadas. Se pueden contar la tala ilegal para leña, carbón, para productos de madera, programas del gobierno de aclaramiento de las zonas, sitios de pastoreo y ganaderías ilegales, fuegos, plagas, falta de educación ambiental de los dueños de las tierras, mal manejo de la zona, tala selectiva, corrupción de las autoridades en la industria maderera, y la inseguridad que sufren los dueños de las tierras por defenderlas. De este último punto se pueden contabilizar 86 defensores del medio ambiente asesinados de 2012 a 2020, haciendo de México el sexto lugar más peligroso para defender la naturaleza.

Otra causa antropogénica de esta pérdida de biodiversidad son la sobreexplotación de una especie en particular provocando su extinción local. También se involucra en esta pérdida

las especies invasoras, estas son especies introducidas que al adaptarse al nuevo entorno y sin enemigos naturales prolifera sin control, desplazando a especies nativas hasta su extinción. Finalmente, otra causa que provoca un ciclo en esta pérdida de biodiversidad es el cambio climático. Conforme se reducen los bosques se incrementa el efecto de este fenómeno, al incrementarse se acelera la modificación o pérdida de hábitats.

Actividades

Pregunta a tus familiares de mayor edad cómo recuerdan que era el sitio en el que viven hace años. Haciendo énfasis en los terrenos que había y qué son ahora.

Busca la NOM-059-SEMARNAT-2010, a partir de esto elabora fichas de información de 20 especies que ahí aparecen, incluyendo al menos una especie de cada uno de los grandes grupos enlistados: hongos, plantas, invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Las fichas deben contener: Nombre científico, nombre común, categoría en que se encuentra y una ilustración

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema II. Biodiversidad de México.

Uso y conservación de la biodiversidad

Aprendizaje: Identifica acciones para el uso y la conservación *in situ* y *ex situ* de la biodiversidad en México.

Sugerencias de evaluación

Para la evaluación diagnóstica se sugiere hacer una lluvia de ideas con la participación de todo el grupo, las preguntas que guían esta actividad son ¿Qué se hace en México para conservar la biodiversidad? ¿Qué hago yo de manera individual para conservar la biodiversidad? Se debe prestar atención pues en esta segunda pregunta se pueden desviar y comenzar a presentar maneras de cuidar su entorno inmediato sin ligarlo a la conservación.

A manera de evaluación formativa se recomienda la siguiente actividad grupal: elaborar un mapa de México en el que se señale la ubicación de al menos 5 ANPs por estudiante sin repetir. Se puede implementar como base la Figura 28. Al final se muestra el mapa ante el grupo y se decide entre todos y todas que evaluación le dan.

Lectura

En el aprendizaje anterior se abordaron las causas antropogénicas de la pérdida de biodiversidad, es decir, de la extinción de especies por causa del humano. Pero el panorama no es tan desalentador, existen formas en las que se intenta conservar a estas formas de vida que se sabe van desapareciendo. Estas se pueden clasificar como *in situ* y como *ex situ*, las primeras se llevan a cabo en la naturaleza o en el hábitat de la especie de interés y las segundas se llevan a cabo en laboratorios y centros de investigación.

In situ

Una de las principales maneras que se tiene actualmente para proteger a las especies amenazadas y a su hábitat es mediante las Áreas Naturales Protegidas (ANP). En muchas de estas zonas ya existían asentamientos previos a que se declararan como una ANP, para 2005 era el 3.34% de la población total de México la que habitaba en estas zonas. Esta razón es la que promueve que estos asentamientos utilicen los recursos naturales de estas ANPs de manera sustentable.

A nivel mundial van de Categoría I a VI dependiendo de sus objetivos, restricciones, beneficios y tamaños (Tabla 7). En México se tiene una clasificación de acuerdo al nivel de gobierno que las rige, y dentro de cada nivel hay distintos tipos (Tabla 8). A nivel federal se cuentan con un total de 182 ANPs que abarcan una superficie de 908,395 km² incluyendo los mares, sin embargo, al comparar esta superficie con la superficie total del país se aprecia que cubre muy poca superficie (Figura 28). En la actualidad muchos de los esfuerzos por la conservación se centran en este tipo de estrategias, pero se ha demostrado que tanto la tala como la perturbación que se puede dar por aprovechamiento sustentable tienen un impacto mayor al que previamente se creía. Esto solo refleja la necesidad de incrementar este tipo de esfuerzos.

Tabla 7. Las categorías que reconoce la Comisión Mundial de Áreas Protegidas (WCPA) de la Unión internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Obj: Objetivo; Res: Restricciones; Ben: Beneficios; Tam: Tamaño

Categoría Ia. Reserva Natural Estricta	Obj. Protección de la biodiversidad y rasgos geológicos Res. Visitas, usos e impactos controlados y limitados Ben. Áreas de referencia para investigación científica y monitoreo Tam. Pequeño
Categoría Ib. Área Silvestre	Obj. Áreas relativamente grandes con poca alteración en donde la protección y manejo preservan su condición natural Res. Sin habitación humana permanente o sustancial Ben. Mantienen características e influencias naturales Tam. Grande
Categoría II. Parque Nacional	Obj. Protección de los procesos ecológicos de gran escala y de las especies y ecosistemas característicos del área Res. Áreas naturales o seminaturales de tamaño considerable Ben. Proporcionan el fundamento ambiental y cultural para proporciona a los visitantes oportunidades espirituales, científicas, educativas y recreativas Tam. Grande
Categoría III. Monumento o rasgo natural	Obj. Protección de monumentos naturales específicos como geoformas, cavernas o bosques únicos Res. Ninguna Ben. Áreas pequeñas con un alto valor para los visitantes Tam. Pequeño
Categoría IV. Área de manejo de hábitat/especies	Obj. Protección de hábitats o especies particulares Res. En general requieren de intervenciones regulares para mantener los requerimientos de las especies o para mantener los hábitats Ben. Mantienen especies y/o hábitats particulares Tam. Pequeño

Categoría V. Paisaje terrestre o marino protegido	Obj. Mantener características producidas por la interacción entre los seres humanos y la naturaleza que tengan valor ecológico, biológico, cultural y escénico Res. Ninguna Ben. Mantienen el área y sus valores asociados como la conservación de la naturaleza entre otros Tam. Grande
Categoría VI. Área protegida con uso sustentable de recursos naturales	Obj. Protección de ecosistemas y hábitats con valores culturales asociados y sistemas de manejo tradicional de recursos naturales Res. Con niveles bajos de utilización sustentable de recursos naturales Ben. Hacen compatible la utilización de recursos con la conservación de la naturaleza Tam. Grande

Tabla 8. Áreas Naturales Protegidas en México bajo la administración de la Comisión Nacional de Áreas Naturales

Federales	Reserva de la Biosfera
	Parque Nacional
	Monumento Natural
	Área de Protección de Recursos Naturales
	Área de Protección de Fauna y Flora
	Santuario
Estatales	22 estados cuentan con decretos de áreas protegidas
Comunitarias	Comunidades y ejidos que mantienen áreas con baja intensidad de uso de recursos
Privadas	Creadas por dueños particulares de extensiones de tierra que deciden destinar su terreno a la conservación



Figura 28. Mapa de las ANPs de México. El sombreado oscuro señala las marinas y el sombreado claro marca las terrestres. Modificado de CONANP, 2021.

Ex situ

Otra manera de apoyar los esfuerzos de conservación se lleva a cabo fuera de los ambientes naturales. Para esto se aplican una gran variedad de técnicas que apoyan principalmente a la reproducción de especies amenazadas para después poder reintroducirlas a su ambiente o aprovecharlas en muestras didácticas y crear conciencia de la pérdida de sus hábitats, o de la especie misma. Se han desarrollado dos principales vertientes de este tipo de conservación: para plantas y para animales.

Para plantas la principal herramienta han sido los jardines botánicos. En estos sitios se hace investigación de diversos tipos como la etnobotánica, sistemática y propagación *in vitro*; otra actividad es la educación ambiental, pues tienen colecciones de plantas cuyo fin es la difusión del conocimiento sobre estas mismas plantas, que suelen ser especies amenazadas o en peligro de extinción. Otra herramienta son los bancos de germoplasma, o bancos de semillas; en estos sitios se almacenan las semillas de distintas especies a bajas temperaturas, principalmente para resguardar la diversidad genética de las mismas. Una herramienta más para plantas son los laboratorios de cultivo vegetales en donde se

almacena tejido reproductivo y tejido somático para poder reproducir a las distintas especies de plantas sin necesidad de una semilla.

En el caso de los animales, unas de las mejores herramientas que se tienen son los zoológicos y acuarios. En estas instituciones se realiza investigación, difusión, reproducción, rehabilitación y reintroducción de especies a sus hábitats. Aunque no todos los zoológicos registrados pertenecen a la Asociación de Zoológicos, Criaderos y Acuarios de la República Mexicana (AZCARM), la idea es que todos sigan la Estrategia Mundial de Conservación en Zoológicos y Acuarios (EMCZA) cuyos objetivos son los mencionados previamente. Estos sitios han recibido un incremento en el rechazo por parte de grupos animalistas, quienes tienen buenas intenciones, pero suelen tomar decisiones desinformadas perjudicando a los animales que pretenden salvar.

Un par de medidas que han cobrado fuerza en recientes años son las Unidades de Manejo Ambiental (UMA) y los Predios e Instalaciones de Manejo de Vida Silvestre (PIMVS), ambas están debidamente legislas por la SEMARNAT y se deben entregar reportes y registros de los resultados de cada una.

Las UMAs son predios en los que se realizan actividades de conservación y de aprovechamiento sustentable. Puede tener como objetivos generales conservar el hábitat, poblaciones y ejemplares de especies; como objetivos particulares puede tener la restauración, protección, mantenimiento, recuperación, reproducción, repoblación, reintroducción, investigación, rescate, resguardo, rehabilitación, exhibición, recreación, educación ambiental y aprovechamiento sustentable.

Las PIMVS se consideran sitios en donde se maneja vida silvestre de manera confinada (criadero o vivero) con el propósito de reproducir de manera controlada a la especie de interés con fines comerciales

Actividad

Elabora un organizador gráfico a partir de la lectura que acabas de realizar. A continuación, intercámbialo con alguno de tus camaradas y haz observaciones sobre lo que tú crees puede mejorar su organizador gráfico a la vez que reflexionas que puede mejorar el tuyo.

Unidad 2. ¿Por qué es importante el conocimiento de la biodiversidad de México?

Tema II. Biodiversidad de México.

Importancia de la biodiversidad

Aprendizaje: Comprende el valor de la biodiversidad y propone acciones para el mejoramiento de su entorno.

Sugerencias de evaluación

Se sugiere que como evaluación diagnóstica se haga una lluvia de ideas con el alumnado, guiada por las preguntas ¿Qué me aporta la biodiversidad a mi vida diaria? ¿Qué hago para reducir mi impacto en el planeta? Se recomienda a quien imparte que en caso de ser necesario inicie con una o dos ideas sobre la primera pregunta para que de ahí sepan el sentido de la pregunta.

Como evaluación formativa se sugiere pedir a los jóvenes que investiguen de manera individual cuál es su huella ecológica y su huella de carbono. A partir de esto elaborar un organizador gráfico sobre las acciones que pueden tomar para reducir este impacto en el planeta, formar equipos y de manera individual presentarlo ante el equipo. Los integrantes del equipo emitirán un juicio sobre la naturaleza y originalidad de las acciones a realizar de quien expuso su organizador.

Lectura

En un ambiente urbano se suele pensar en la biodiversidad como algo más allá del pavimento, que solo está en el campo, y que como ciudadanos únicamente se aprecia cuando uno hace viajes largos fuera de la ciudad. La biodiversidad abarca más que esta idea, sus usos están presentes en la vida diaria de la gente, ya sea en medios urbanos o rurales.

Algunos de los beneficios directos de la biodiversidad son aditivos para los alimentos, esencias, combustibles, tejados, pienso (alimento de ganado), resinas, tintes, medicinas, fibras, y lo más importante: los alimentos diarios.

Esto se refleja en la historia de la humanidad, no se habrían dado los desarrollos de las grandes civilizaciones sin considerar elementos de la biodiversidad. Al iniciar las culturas agrícolas, implementaron plantas silvestres de su biodiversidad local y las fueron domesticando. Los viajes durante el renacimiento impulsados por el deseo de encontrar

rutas hacia biodiversidad exótica, sobre todo especies (plantas), culminaron en el descubrimiento de que la Tierra es redonda.

A la actualidad, todos estos recursos provenientes de la biodiversidad se siguen aprovechando. Pero no solo se implementan de manera directa, pues toda la información que deriva de aprender más sobre toda esta biodiversidad se aplica a la tecnología también.

Algunos ejemplos son la aplicación de la mente de colmena de las abejas sociales para mejorar la eficiencia de las redes eléctricas, se implementó un sistema similar al de las rebabas de bardana (esas semillas de plantas que se pegan a la ropa y no se despegan fácilmente) creando el velcro, la aplicación de la manera en que los geckos se adhieren a superficies en un sinnúmero de tecnologías, aplicar los bordes irregulares de las aletas de ballena jorobada a turbinas de viento para reducir el arrastre y mejorar la eficiencia, copiar la forma de la piel de los tiburones para crear un recubrimiento para naves que reduce la resistencia, imitar la forma del pico del martín pescador para reducir el ruido y hacer más aerodinámico al Shinkansen (tren bala), construir edificios de manera similar a un termitero en zonas cálidas para mantener fresco el interior, el diseño de un aislante térmico que funciona a la vez para capturar calor y distribuirlo en la noche basándose en el pelaje de los osos polares, la integración de adaptaciones de muchísimas especies de plantas y animales en aplicaciones para absorber energía en construcción y hacer a los edificios más resistentes a terremotos y otros desastres naturales (Figura 29).

Con la comprensión de la importancia de la biodiversidad, y lo que se ha abordado en aprendizajes anteriores sobre su pérdida, es necesario hacer una reflexión en las acciones que se llevan a cabo para evitar el deterioro del medio ambiente.

Es complicado que cada persona implemente una UMA o una PIMVS como las que ya se han mencionado en otro aprendizaje, pero sí es posible que cada persona tome la decisión de cambiar hábitos para evitar el deterioro de la naturaleza y la pérdida de especies. Los principales hábitos que se pueden mejorar, modificar, o tomar por primera vez, son reducir reusar y reciclar.

El principal es reducir, esto significa que se deben disminuir las cantidades de objetos que se adquieren; con esto también disminuye la cantidad de energía, agua y basura que implica la producción de dicho objeto. El reusar implica darle el uso máximo a cada objeto con el que se cuenta, pues al alargar la vida de un producto disminuye la necesidad de adquirir más. Finalmente, reciclar significa tomar todo lo que se considera basura y convertirla en un nuevo objeto mediante algún tratamiento; los principales tipos de basura que se reciclan son vidrio, materia orgánica y los distintos tipos de plásticos. En conjunto, estas tres acciones se conocen como las 3 Rs.

Además de estas 3 Rs, hay un sinnúmero de actividades que se pueden llevar a cabo para mejorar el entorno, un buen ejemplo es juntar a un grupo de personas y dar un paseo por la cuadra recogiendo la basura que se encuentren y separando la que se puede reciclar o reusar. Al

dar un paseo familiar siempre revisar que no haya quedado basura en el sitio que se ocupó, incluso si otros visitantes dejaron apoyar y recogerla también. Se puede exigir a las autoridades una mejor legislación en cuanto a materia de conservación, manejo de recursos, manejo de desechos, etcétera.

El límite para las acciones que se pueden llevar a cabo para mejorar el ambiente se encuentra únicamente en la imaginación de cada persona.

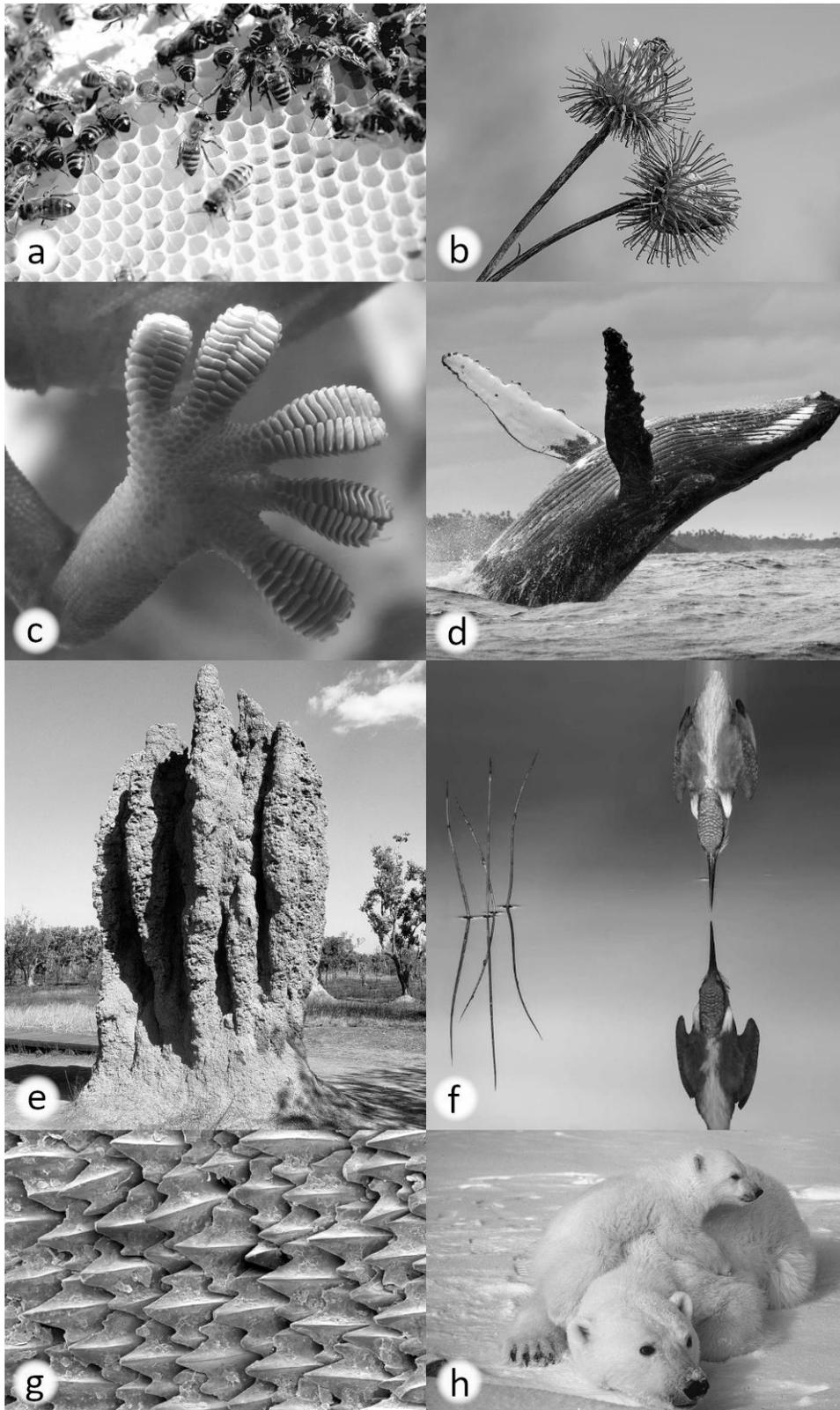


Figura 29. Elementos de la biodiversidad que han servido de inspiración para el desarrollo de nuevas tecnologías. a) las abejas y su mente de colmena, imagen modificada de Wikimedia

Commons; b) estructuras adherentes de la bardana, imagen tomada de iStockphoto; c) pie de un gecko y su capacidad de sostenerse a pesar de lo liso del cristal sobre el que se encuentra, imagen modificada de Wikimedia Commons; d) ballena jorobada con las irregularidades en sus aletas pectorales que le permiten mayor agilidad al nadar, imagen modificada de Smithsonian Mag; e) el termitero permite que el aire caliente salga por arriba, enfriando la estructura completa, imagen modificada de Wikimedia Commons; f) martín pescador a punto de entrar al agua, su pico ayuda a reducir y absorber el impacto con el agua, imagen modificada de My Modern Met; g) escamas de piel de tiburón a similares a dientes ayudan a reducir la fricción con el agua incrementando su velocidad de nado, imagen modificada de wqad.com; h) el pelaje de los osos polares forma dos capas aislándolos por completo del frío, tanto que incluso no se registra su calor en radares infrarrojos, imagen de Wikimedia Commons.

Actividades

Piensa en alguna especie que conozcas. Escribe o haz un diagrama de cómo podrías aplicar alguna característica de esa especie a la tecnología.

Retomando la primera actividad del aprendizaje “Relaciona los factores naturales y antropogénicos con la pérdida de la biodiversidad”, hacer una reflexión y a partir de esta un escrito en donde expliques qué harías para mejorar tu entorno.

Formas e instrumentos de evaluación

Las formas e instrumentos de evaluación se indican en la sección pertinente a cada aprendizaje. En cada uno se está considerando una evaluación diagnóstica y una formativa, además de que se proporcionan elementos que se pueden integrar para una evaluación sumativa. En gran medida se considera la participación de todo el grupo en la evaluación diagnóstica, ya sea de manera individual o en equipo. Para la formativa se presentan las actividades al final de cada aprendizaje, que pueden ser individuales o colaborativas. De igual manera, en la sumativa el profesorado puede considerar una coevaluación de las actividades entre el alumnado; se sugiere una prueba escrita por unidad y un breve ensayo final en el que se integren todos los elementos del curso.

Valoración del profesor de los resultados obtenidos

Este cuaderno de trabajo de trabajo se implementó de manera sincrónica en un grupo de PAE de Biología IV durante el semestre 2021-2 y de manera asincrónica en dos grupos de PAL durante el mismo periodo.

De manera virtual, el alumnado busca las respuestas de las actividades en sitios de internet a pesar de tener la información disponible en las lecturas proporcionadas. Es posible que la razón detrás de esto sea una mecanización en sus métodos y hábitos de estudio, y a una posible falta de atención a las actividades que se llevan a cabo.

Algunas actividades tienen un nivel de dificultad más elevado que otras, entonces se recomienda observar el desempeño del alumnado al realizarlas y dar el acompañamiento que se considere pertinente.

Uno de estos ejercicios es el que se encuentra en el aprendizaje de las extinciones. El alumnado no comprendió bien la actividad, entonces para una revisión del trabajo se deberá modificar para que presente mayor claridad. Otro que presentó dificultades fue el ejercicio de lógica integrado en el aprendizaje de árboles filogenéticos. En este, la recomendación es resolverlo en equipos o entre todo el grupo.

A continuación, se discuten los resultados cuantitativos de la aplicación de este cuaderno. En la modalidad sincrónica implementada en el PAE se tuvieron ocho alumnos, de los cuales seis obtuvieron una nota aprobatoria. Tres de estas fueron 6 y las restantes bastante más altas, dos alumnos obtuvieron 8 y un alumno obtuvo 9. Esto es que el 75% de la población en que se aplicó aprobó el curso, y un 38% lo hizo de manera satisfactoria.

En la modalidad asincrónica implementada en el PAL se contó con 19 jóvenes entre los dos grupos en que se probó, de esta población fue el 58% que aprobó el curso. Todos los que

aprobaron lo hicieron con una nota de 7 para arriba teniendo 21% del alumnado con 7, 21% con 8 y 16% con 9.

Estos datos reflejan que el cuaderno está proporcionando al alumnado herramientas para poder cubrir todos los aprendizajes que se indican en el programa de manera satisfactoria. Y si bien indica que se puede implementar de manera sincrónica y asincrónica, la pequeña muestra en que se aplicó parece indicar que se obtienen mejores resultados si se implementa de manera sincrónica.

Literatura

- Allmon, W. D. (2017). Species, lineages, splitting, and divergence: why we still need 'anagenesis' and 'cladogenesis'. *Biological Journal of the Linnean Society* 120:474-479 DOI: 10.1111/bij.12885
- Arellano, L. y Halffter, G. (2003). Gamma diversity: derived from a determinant of Alpha diversity and Beta diversity. An analysis of three tropical landscapes. *Acta zoológica Mexicana* 90:27-76
- Barlow, J., Lennox, G. D., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A. C., Nally, R. M., Thomson, J. R., Ferraz, S. F. de B., Louzada, J., Oliveira, V. H. F., Parry, L., Solar, R. R. de C., Viaira, I. C. G., Aragao, L. E. O. C., Begotti, R. A., Braga, R. F., Cardoso, T. M., de Oliveira Jr, R. C., Souza Jr, C. M., Moura, N. G., Nunes, S. S., Siqueira, J. V., Pardini, R., Silveira, J. M., Vaz-de-Mello, F. Z., Veiga, R. C. S., Venturieri, A. y Gardner, T. A. (2016). Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* 535:144-147 DOI: 10.1038/nature18326
- Beck, H. E., N. E. Zimmermann, T. R. McVicar, N. Vergopolan, A. Berg y E. F. Wood, 2018. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* 5:180214. DOI: 10.1038/sdata.2018.214
- Bell, E. A., Boehnke, P., Harrison, T. M. y Mao W. L. (2015). Potentially biogenic carbon preserved in a 4.1 billion-year-old zircon. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112:14528-14521. DOI: 10.1073/pnas.1517557112
- Bond, D. P. G. y Grasby, S. E. (2020). Late Ordovician mass extinction caused by volcanism, warming, and anoxia, not cooling and glaciation. *Geology* 48:777-781. DOI: 10.1130/G47377.1
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L. y Fan, J.-X. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes* 36:199-204
- Collin, S. M. (2008). *Dictionary of Environment & Ecology*. A&C Black
- CONABIO (2006). *Capital natural y bienestar social*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- CONABIO (2008). *Capital Natural de México Vol.1: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- CONABIO (2009). *Capital Natural de México Vol.2: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- CONABIO (2021, marzo). *Ecosistemas de México*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/ecosismex>

- CONANP (2021, marzo). Mapa de las Áreas Naturales Protegidas de México. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/anp/nal/mapasprevios/mapa_actualizado_anps_PREVIO.htm
- De Erice, E. y González, A. (2020). *Biología. La ciencia de la vida*. McGraw Hill
- Escalante, T., Sánchez-Cordero, V., Morrone, J. J. y Linaje, M. (2007). Deforestation affects biogeographical regionalization: a case study contrasting potential and extant distributions of Mexican terrestrial mammals. *Journal of Natural History* 41:956-984. DOI: 10.1080/00222930701292062
- Escalante, T. (2008). Un ensayo sobre regionalización biogeográfica. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80:551-560
- Engelhardt, S. y Sarsour, J. (2015). Solar heat harvesting and transparent insulation in textile architecture inspired by polar bear fur. *Energy and Buildings* 103:96-106. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.053
- FAO (2020, marzo). The state of the world's forests. <http://www.fao.org/state-of-forests/en/>
- Fattorini, S. (2017). Endemism in historical biogeography and conservation biology: concepts and implications. *Biogeographia – The Journal of Integrative Biogeography* 32:47-75. DOI: 10.21426/B632136433
- Granda, S., González, V. H. y López, M. I. (2015). *Principios de la Ecología General*. Ecuador: Universidad Técnica de Machala
- Gross, J. y Bhattacharya, D. (2010). Uniting sex and eukaryote origins in an emerging oxygenic world. *Biology Direct* 5:53. DOI: 10.1186/1745-6150-5-53
- Ha, N. S. y Lu, G. (2020). A review of recent research on bio-inspired structures and materials for energy absorption applications. *Composites Part B: Engineering* 181: 107496. DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107496
- Halffter, G., Soberón, J., Koleff, P. y Melic, A. (2005). Sobre diversidad biológica: El significado de las Diversidades alfa, beta y gama. *M3m-Monografías 3er Milenio*, vol. 4. SEA, CONABIO, Grupo DIVERSITAS y CONACyT
- Hughes, A. R., Inouye, B. D., Johnson, M. T. J., Underwood, N. y Vellend, M. (2008). Ecological consequences of genetic diversity. *Ecology Letters* 11:609-623. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01179.x
- INEGI (2021, febrero). Mapa digital de México. gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF00jIzLjQ2MTI1LGxvbjotMTAzLjc3NDE3LHo6MixsOmN1c3Y2

- IUCN (2020, febrero). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2020-3. www.iucnredlist.org
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos* 113:363-375. DOI: 10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x
- King, K. C y Lively, C. M. (2012). Does genetic diversity limit disease spread in natural host populations?. *Heredity* 109:199-203. DOI:10.1038/hdy.2012.33
- Koepfli, K-P., Pollinger, J., Godinho, R., Robinson, J., Lea, A., Hendricks, S., Schweizer, R. M., Thalmann, O., Silva, P., Fan, Z., Yurchenko, A. A., Dobrynin, P., Makunin, A., Cahill, J. A., Shapiro, B., Álvarez, F., Crito, J. C., Geffern, E., Leonard, J. A., Helgen, K. M., Johnson, W. E., O'Brien, S. J., van Valkenburgh, B. y Wayne, R. K. (2015). Genome-wide evidence reveals that African and Eurasian golden jackals are distinct species. *Current Biology* 25:2158-2165. DOI: 10.1016/j.cub.2015.06.060
- Molina-Venegas, R., Rodríguez, M. A., Pardo-de-Santayana, M., Ronquillo, C., y Mabblerley, D. J. (2021). Maximum levels of global phylogenetic diversity efficiently capture plant services for humankind. *Nature Ecology & Evolution*. DOI: 10.1038/s41559-021-01414-2
- Mora, C., Tittensor, D. T., Adl, S., Simpson, A. G. B. y Worm, B. (2011). How many species are there on Earth and in the ocean?. *PLoS Biology* 9:e1001127. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001127
- Morris, R. J. (2010). Anthropogenic impacts on tropical forest biodiversity: a network structure and ecosystem functioning perspective. *Philosophical transactions of the Royal Society B* 365:3709-3718. DOI: 10.1098/rstb.2010.0273
- Morrone, J. J. (2013). *Sistemática. Fundamentos, métodos, aplicaciones*. UNAM, Facultad de Ciencias
- Morrone, J. J. (2015). Biogeographical regionalization of the world: a reappraisal. *Australian Systematic Botany* 28:81-90. DOI: 10.1071/SB14042
- Morrone, J. J. (2019). Regionalización biogeográfica y evolución biótica de México: encrucijada de la biodiversidad del Nuevo Mundo. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 90:e902980. DOI: 10.22201/ib.20078706e.2019.90.2980
- Morrone, J. J. y Escalante, T. (2016). *Introducción a la biogeografía*. Universidad Nacional Autónoma de México
- Morrone, J. J., Escalante, T. y Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa* 4277:277-279. DOI: 10.11646/zootaxa.4277.2.8

- Nava, J. V., Carapia, A. L. y Vidal-García, F. (2021, abril). Las tres R: Una opción para cuidar nuestro planeta. www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/413-las-tres-r-una-opcion-para-cuidar-nuestro-planeta
- O'Connell, C. (2018, abril). Technologies inspired by nature. *Cosmos magazine*. <https://cosmosmagazine.com/technology/technologies-inspired-by-nature/>
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnut, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P. y Kassem, K. R. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life On Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience* 51:933-938. DOI: 10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2
- Oñate, L. (2009). *Biología*. Cengage learning
- Otto, S. P. y Whitton, J. (2000). Polyploid incidence and evolution. *Annual Review of Genetics* 34:401-437. DOI: 10.1146/annurev.genet.34.1.401
- Pascual, R., Archer, M., Ortiz, E., Prado, J. L., Godthelp, H. y Hand, S. J. (1992). First discovery of monotremes in South America. *Nature* 356:704-706. DOI: 10.1038/356704a0
- Piras, P., Silvestro, D., Carotenuto, F., Castiglione, S., Kotsakis, A., Maiorino, L., Melchionna, M., Mondanaro, A., Sansalone, G., Serio, C., Vero, V. A. y Raia, P. (2018). Evolution of the sabretooth mandible: A deadly ecomorphological specialization. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 496:166-174. DOI:10.1016/j.palaeo.2018.01.034
- Platt, J. R. (2021, marzo). What we've lost: The species declared extinct in 2020. *Scientific American*. www.scientificamerican.com/article/what-weve-lost-the-species-declared-extinct-in-2020/
- Reynolds, C. (2002). Ecological pattern and ecosystem theory. *Ecological Modelling* 158:181-200. DOI: 10.1016/s0304-3800(02)00230-2
- Smith, T. M. y Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Pearson Educación
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. y Reece, J. B. (2016). *Campbell Biology*. Pearson
- Vauz, F., Trewick, S. A. y Morgan-Richards, M. (2017). Speciation through the looking-glass. *Biological Journal of the Linnean Society* 120:480-488. DOI: 10.1111/bij.12872
- Wiley, E. O. y Lieberman, B. S. (2011). *Phylogenetics: The theory and practice of phylogenetic systematics*. Wiley-Blackwell

Wilkins, J. S. (2018). *Species: A History of the Idea*. CRC Press

Williams, G. C. (2019). *Adaptation and Natural Selection. A critique of some current evolutionary thought*. Princeton University Press

Imágenes

Figura 1. Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. y Reece, J. B. (2016). *Campbell Biology*. Pearson

Figura 2. Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. y Reece, J. B. (2016). *Campbell Biology*. Pearson

Figura 3. Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. y Reece, J. B. (2016). *Campbell Biology*. Pearson

Figura 4. Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. y Reece, J. B. (2016). *Campbell Biology*. Pearson

Figura 5. Shutterstock (2020, diciembre). Shutterstock. www.shutterstock.com/es/image-vector/illustration-biology-anagenesis-cladogenesis-evolution-animal-1704126844

Figura 6. Shutterstock (2020, diciembre). Shutterstock. www.shutterstock.com/es/image-vector/illustration-biology-anagenesis-cladogenesis-evolution-animal-1704126844

Figura 7. Alchetron (2021, enero). Alchetron. alchetron.com/Coelacanthus; ScienceAlert (2021, enero). Science Alert. www.sciencealert.com/coelacanth-has-not-spent-65-million-years-unchanged-after-all-its-genome-reveals

Figura 8. DarwinsDilemma (2021, enero). Darwin's Dilemma, horseshoe crab fossils darwinsdilemma.tumblr.com/post/121580947246/jurassic-mesolimulus-walchi-horseshoe-crab-fossil; Wikimedia Commons (2021, enero). Wikimedia Commons. [commons.wikimedia.org/wiki/File:Atlantic_horseshoe_crab_\(Limulus_polyphemus\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atlantic_horseshoe_crab_(Limulus_polyphemus).jpg)

Figura 9. Koepfli, K-P., Pollinger, J., Godinho, R., Robinson, J., Lea, A., Hendricks, S., Schweizer, R. M., Thalmann, O., Silva, P., Fan, Z., Yurchenko, A. A., Dobrynin, P., Makunin, A., Cahill, J. A., Shapiro, B., Álvarez, F., Crito, J. C., Geffern, E., Leonard, J. A., Helgen, K. M., Johnson, W. E., O'Brien, S. J., van Valkenburgh, B. y Wayne, R. K. (2015). Genome-wide evidence reveals that African and Eurasian golden jackals are distinct species. *Current Biology* 25:2158-2165. DOI: 10.1016/j.cub.2015.06.060

Figura 10. Pokemon (2021, febrero). Pokemon: Eevee. www.pokemon.com/es/pokedex/eevee; Pokemon (2021, febrero). Pokemon: Flareon.

www.pokemon.com/el/pokedex/flareon; Pokemon (2021, febrero). Leafeon.
pokemon.fandom.com/es/wiki/Leafeon

Figura 11. Propia

Figura 12. Propia

Figura 13. Propia

Figura 14. WikimediaCommons (2021, marzo). Wikimedia Commons.
commons.wikimedia.org/wiki/File:Darwin_tree.png; WikimediaCommons (2021, marzo).
Wikimedia Commons. commons.wikimedia.org/wiki/Haeckel_arbol_bn.png

Figura 15. Propia

Figura 16. Piras, P., Silvestro, D., Carotenuto, F., Castiglione, S., Kotsakis, A., Maiorino, L., Melchionna, M., Mondanaro, A., Sansalone, G., Serio, C., Vero, V. A. y Raia, P. (2018). Evolution of the sabretooth mandible: A deadly ecomorphological specialization. *Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 496:166-174. DOI:10.1016/j.palaeo.2018.01.034

Figura 17. Propio

Figura 18. Morrone, J. J., 2013. Morrone, J. J. (2013). Sistemática. Fundamentos, métodos, aplicaciones. UNAM, Facultad de Ciencias

Figura 19. Propio

Figura 20. WikimediaCommons (2021, marzo). Wikimedia Commons.
commons.wikimedia.org/wiki/File:Ecozones.svg

Figura 21. WikimediaCommons (2021, marzo). Wikimedia Commons.
commons.wikimedia.org/wiki/File:Mexico_Map.svg

Figura 22. WikimediaCommons (2021, marzo). Wikimedia Commons.
commons.wikimedia.org/wiki/File:Mexico_Map.svg

Figura 23. WikimediaCommons (2021, marzo). Wikimedia Commons.
commons.wikimedia.org/wiki/File:Megadiverse_Countries.PNG

Figura 24. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A. y Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Sci Data* 5:180214. DOI: 10.1038/sdata.2018.214

Figura 25. WikimediaCommons (2021, abril). Wikimedia Commons.
commons.wikimedia.org/wiki/File:Ecozone-Biocountries-Nearctic-2.svg

Figura 26. Morrone, J. J., Escalante, T. y Rodríguez-Tapia, G. (2017). Mexican biogeographic provinces: Map and shapefiles. *Zootaxa* 4277:277-279. DOI: 10.11646/zootaxa.4277.2.8

Figura 27. a) Naturalista (2021, abril). Naturalista. www.naturalista.mx/taxa/206679-Agave-lurida; b) Wikimedia Commons (2021, abril) Wikimedia Commons. commons.wikimedia.org/wiki/File:Csapodya_splendens_BOGA_Bern_3.jpg; c) Naturalista (2021, abril). Naturalista. www.naturalista.mx/taxa/204937-Furcraea-macdougallii/browse_photos

Figura 28. CONANP (2021, marzo). Mapa de las Áreas Naturales Protegidas de México. http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/anp/nal/mapasprevios/mapa_actualizado_anps_PREVIO.htm

Figura 29. a) Wikimedia Commons (2021, abril). Wikimedia Commons. [commons.wikimedia.org/wiki/File:Todd_Huffman_-_Lattice_\(by\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Todd_Huffman_-_Lattice_(by).jpg); b) Istockphoto (2021, abril). Istock photo. istockphoto.com/es/primer-plano-en-la-cabeza-de-semillas-secas-de-bardana-o-rebabas-contra-el-cielo-azul-gm962481708-262869533; c) Wikimedia Commons (2021, abril). Wikimedia Commons. commons.wikimedia.org/wiki/File:Gecko_foot_on_glass.JPG; d) SmithsonianMag (2021, abril). Smithsonian Magazine. smithsonianmag.com/Smart-news/first-humpbacks-were-observed-using-their-fins-herd-fish-180973355/; e) Wikimedia Commons (2021, abril). Wikimedia Commons. commons.wikimedia.org/wiki/File:Termite_Cathedral_DSC03570.jpg; f) MyModernMet (2021, abril). My Modern Met. mymodernmet.com/mario-cea-kingfisher-bird-photo/; g) Wqad (2021, abril). Wqad, shark skin. wqad.com/video/tech/science/amaze-lab/shark-skin-is-made-up-of-millions-of-microscopic-teeth/609-a4c1ad0e-ed0c-4e9e-a51d-505ef96a5756; h) Wikimedia Commons (2021, abril). Wikimedia Commons. commons.wikimedia.org/wiki/File:Ursus_maritimus_Polar_bear_with_cub_2.jpg