



El origen de las especies: el pico del pinzón

INTRODUCCIÓN

[El pico del pinzón](#) es uno de tres cortometrajes que pertenece a la colección de HHMI, El Origen de las Especies. Los naturalistas, desde Charles Darwin hasta E. O. Wilson, se han maravillado ante la cantidad y diversidad increíbles de especies en la Tierra. Tratar de entender por qué hay tantas especies en nuestro planeta es un área activa de investigación actualmente. El origen de las especies: el pico del pinzón sigue a los biólogos de la Universidad de Princeton, Peter y Rosemary Grant, en su estudio de los pinzones endémicos de las Islas Galápagos. Su trabajo, llevado a cabo a lo largo de cuatro décadas, muestra cómo tanto la geografía como la ecología pueden impulsar la evolución de especies nuevas.



Pinzones de Darwin. Charles Darwin atrajo la atención de los científicos hacia los pinzones que habitan las Islas Galápagos luego de su famoso viaje a bordo del HMS Beagle. Trece especies distintas de pinzones de Galápagos están adaptadas a vivir en hábitats diferentes y consumir dietas diferentes. Una de las diferencias más sorprendentes entre las especies es la forma y tamaño de sus picos. (Fotografías cortesía de John van de Graaff.)

CONCEPTOS CLAVES

- Los hábitats y nichos ecológicos están cambiando constantemente; incluso los ecosistemas enteros cambian a través del tiempo. Pueden aparecer especies nuevas a medida que las poblaciones se adaptan a los cambios y a nuevas oportunidades en el ambiente.
- Las islas recién formadas proporcionan nuevos hábitats para que las especies los ocupen. En las Islas Galápagos, una única población ancestral ha dado origen a 13 especies diferentes, cada una adaptada a hábitats y nichos distintos.
- Una adaptación es una estructura o función que confiere alguna habilidad mayor para la supervivencia y reproducción en un ambiente particular.
- Cuando dos grupos dentro de una misma especie se aíslan geográficamente, separados por una barrera física (como un río, un cañón o una cordillera), los cambios genéticos de un grupo no serán los mismos que los del otro y viceversa. Luego de muchas generaciones, los dos grupos divergirán conforme sus caracteres cambian en formas diferentes.
- Para que dos grupos se conviertan en especies distintas, los caracteres deben cambiar de tal forma que mantengan a ambos grupos aislados reproductivamente, lo que significa que no se aparearían ni producirían descendencia fértil con los miembros del otro grupo, aunque llegaran a estar en la misma ubicación geográfica.
- Los cambios evolutivos pueden ocurrir rápidamente, en unas pocas generaciones, si hay variación genética entre los individuos de una población y si la selección natural que actúa sobre esta variación es fuerte. Sin embargo, los cambios más importantes, como el origen de las especies nuevas, normalmente requieren varios miles de generaciones.

CONEXIONES CURRICULARES (ESTADOS UNIDOS)

Estándares	Conexiones curriculares
NGSS (2013)	LS2.A, LS3.B, LS4.B, LS4.C
AP Bio (2015)	1.A.1, 1.A.2, 1.A.4, 1.B.2, 1.C.1, 1.C.2
IB Bio (2016)	5.1, 5.4, C.1
AP Env Sci (2013)	II.C
IB Env Systems and Societies (2017)	3.2
Common Core (2010)	ELA.RST.9-12.4, WHST.6-12.9, MP2
Vision and Change (2009)	CC1, CC5

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Los estudiantes deberían:

- tener un conocimiento básico sobre selección natural, evolución y adaptación;
- estar familiarizados con el concepto de que los organismos ocupan nichos específicos en sus ambientes; y
- saber que los genes y sus respectivos rasgos se heredan y que algunos rasgos proveen a los organismos una mayor probabilidad de sobrevivir y reproducirse.

PUNTOS DE PAUSA

Este cortometraje puede proyectarse sin interrupciones o con pausas en momentos específicos con el fin de analizar contenidos con los estudiantes. El cuadro a continuación sugiere momentos o puntos de pausa e indica el minuto de la película en el que comienza y termina cada uno.

	Inicio	Fin	Descripción del contenido	Preguntas de discusión
1	0:00	5:36	<ul style="list-style-type: none"> • Las 13 especies de pinzones de las Galápagos tienen picos diferentes adaptados para dietas distintas. • La evidencia de ADN indica que las especies de pinzones de Galápagos están más relacionadas entre sí que cualquiera de ellas con las especies de tierra continental; todas evolucionaron a partir de una especie ancestral. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué evidencia utilizaron los científicos para determinar que las 13 especies de pinzones de Galápagos tienen un ancestro común?
2	5:37	11:08	<ul style="list-style-type: none"> • Los rasgos, como el tamaño y forma de los picos, pueden cambiar cuando el ambiente y el suministro de alimentos cambia. • Los hábitats y nichos ecológicos cambian constantemente. • En 1977, debido a la sequía, las semillas grandes eran abundantes y las aves con picos grandes y fuertes tuvieron una ventaja competitiva. A través de generaciones, el tamaño promedio del pico cambió. • En 1983, la precipitación abundante permitió que las enredaderas florecieran. Durante la sequía de 1985, las semillas pequeñas eran más abundantes, por lo que las aves con picos pequeños tuvieron una ventaja competitiva, sobrevivieron bien y sus descendientes tuvieron picos menores. • El cambio evolutivo puede ocurrir rápidamente, en pocas generaciones, si hay variación genética entre los individuos de una población y si la selección natural que actúa sobre esta variación es fuerte. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿En qué forma cambió la población de pinzones terrestres medianos de la isla Dafne Mayor como resultado de los cambios ambientales? • ¿La evolución sucede rápida o lentamente?
3	11:09	15:45	<ul style="list-style-type: none"> • Las especies se definen como poblaciones cuyos miembros no procrean con miembros de otras poblaciones. El aislamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo se define una especie?

		<p>reproductivo puede resultar en especiación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tanto el canto como la apariencia desempeñaron un papel para evitar que las especies diferentes se aparearan entre sí. • Es probable que una especie de pinzón llegara a una isla desde el continente, y a medida que sus descendientes poblaron otras islas, los rasgos cambiaron con el tiempo. Si los cambios incluyeron rasgos relacionados con el apareamiento, se convirtieron en especies distintas. 	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles fueron las dos características que desempeñaron un papel en el aislamiento reproductivo de los pinzones terrestres? • ¿Cómo fue que una población ancestral dio origen a muchas especies, cada una con adaptaciones diferentes?
--	--	---	--

ANTECEDENTES

Durante su viaje a bordo del HMS *Beagle* de 1831 a 1836, Charles Darwin permaneció por cinco semanas en las Islas Galápagos en 1835. A pesar de que su visita fue corta, las observaciones y conclusiones que hizo Darwin sobre cómo funciona la evolución hicieron de su viaje uno de los eventos más famosos en la historia de la ciencia.

Cuando Darwin encontró por primera vez los pinzones, los recolectó y categorizó en tres grupos distintos: tordos o mirlos, saltaparedes o cucaracheros y pinzones. Al regresar a Inglaterra, le presentó sus especímenes a John Gould, uno de los ornitólogos británicos más prominentes. De acuerdo a su anatomía y colores, Gould identificó que todas las aves pertenecían a un solo grupo, en vez de a grupos diferentes como había pensado Darwin. Darwin quedó sorprendido ya que, aunque según Gould todas las aves eran pinzones, los tamaños y formas de sus picos eran bastante diferentes, tan diferentes como los de aves de distintos grupos taxonómicos en varios continentes. En una frase particularmente evocadora de su libro *El viaje del Beagle*, Darwin escribió: “Al ver esta gradación y diversidad de estructuras en un grupo de aves pequeño e íntimamente relacionado, uno podría realmente creer que, de una cantidad original mínima de aves en el archipiélago, una especie había sido tomada y modificada para diferentes fines”.

Su descubrimiento sobre los pinzones y otras evidencias que había recolectado durante su viaje apuntaba hacia una conclusión: la diversas especies no fueron creadas en sus formas actuales, sino que han evolucionado a través de procesos naturales y difusos. Darwin tardó muchos años en publicar sus ideas sobre cómo se forman las especies y su teoría de la evolución a través de la selección natural. *El origen de las especies* fue publicado en 1859, solo después de que Darwin recibiera una carta de Alfred Russel Wallace donde independientemente describía las mismas ideas (véase el cortometraje relacionado [El origen de las especies: Construyendo una teoría](#)).

Avancemos hasta 1973, más de 100 años después de que Darwin escribiera sus revolucionarias ideas, cuando Peter y Rosemary Grant viajaron por primera vez a las Islas Galápagos para estudiar la variabilidad de los pinzones dentro y entre sus poblaciones. Para entonces, los científicos ya no cuestionaban la teoría de la evolución, sino que la aceptaban como un principio central unificador en la biología. Sin embargo, los biólogos continuaban investigando y preguntándose acerca de los procesos que provocan el cambio evolutivo. Por ejemplo, ¿qué papeles desempeñan la competencia, la genética y el ambiente? ¿Cómo contribuyen estos factores para producir la variedad de especies existentes hoy, así como aquéllas que hemos descubierto en los registros fósiles? Cuarenta años de investigación sobre los pinzones de Galápagos han ayudado a obtener algunas de las respuestas.

Las islas son laboratorios naturales

Para obtener información sobre preguntas de investigación específicas, los investigadores intentan limitar el número de variables consideradas. Por esta razón, los estudios sobre especiación con frecuencia se enfocan en

grupos de especies que están estrechamente relacionadas y viven en hábitats relativamente aislados y contenidos, como las islas.

Los estudios de especiación de los Grant se han enfocado en los pinzones que habitan las Islas Galápagos. Estas islas se encuentran en el Océano Pacífico sobre la línea ecuatorial, 973 kilómetros al oeste de Ecuador en América del Sur. La distancia entre la tierra continental y la isla más cercana de las Galápagos hace improbable que las especies continentales de plantas o animales colonicen las islas. Sin embargo, dado el tiempo suficiente, algunas especies del continente harán la travesía. En raras ocasiones los animales voladores, como aves, murciélagos e insectos, pueden trasladarse desde tierras continentales hasta islas oceánicas y de una isla a otra, aunque estén separadas por distancias grandes. Por ejemplo, esto puede suceder cuando las aves son desviadas por alguna tormenta. Los animales voladores pueden llevar semillas accidentalmente con ellos, por ejemplo, dentro del barro en sus patas, que pueden germinar y crecer para formar sus propias poblaciones. Las semillas grandes, como los cocos, pueden flotar hacia las islas por sí mismas y germinar allí.

Las Islas Galápagos no sólo son remotas, sino que también son jóvenes en términos de su geología. Son islas volcánicas que comenzaron a emerger del fondo marino hace 4 o 5 millones de años. Algunas de las primeras islas que emergieron se encuentran nuevamente bajo el agua a causa de la erosión y la subsidencia. Las islas actuales han estado por arriba de la superficie del océano durante 3 millones de años o menos. Por lo tanto, las especies que se encuentran en las Islas Galápagos hoy en día son relativamente pocas y la mayoría de ellas han existido por menos de 3 millones de años. Los científicos pueden estudiar cómo estas especies evolucionaron en un periodo de tiempo relativamente corto, en un ambiente que está en gran parte exento de perturbaciones por actividades humanas. Además, en las islas más pequeñas, como Dafne Mayor, los científicos potencialmente pueden estudiar poblaciones enteras de animales que han vivido en esas islas durante muchas generaciones. Por todas estas razones, las islas pueden funcionar como laboratorios naturales.

La evolución de los pinzones de las Galápagos

Cuando los Grant comenzaron su estudio, no sabían si los pinzones de las Galápagos habían surgido de una sola especie o de dos o más que llegaron a las islas de forma independiente. En un extremo, si cada especie de las Galápagos llegó por separado desde la tierra continental, entonces cada una de las 13 especies que viven en las Galápagos hoy debería estar más estrechamente relacionada con alguna especie del continente que con otras especies de las Galápagos.

Una manera de estudiar las relaciones evolutivas entre las especies es comparando las secuencias de ADN. Cuando los Grant examinaron los datos genéticos de las aves continentales y de los pinzones de las Galápagos, descubrieron que una sola especie continental, el semillero, es el pariente vivo más cercano de todos los pinzones. Este descubrimiento no era compatible con la hipótesis de los orígenes múltiples. La especie ancestral de todos los pinzones de las Galápagos probablemente fue una especie consumidora de semillas, como el semillero, que llegó a las islas hace unos 2 millones de años.

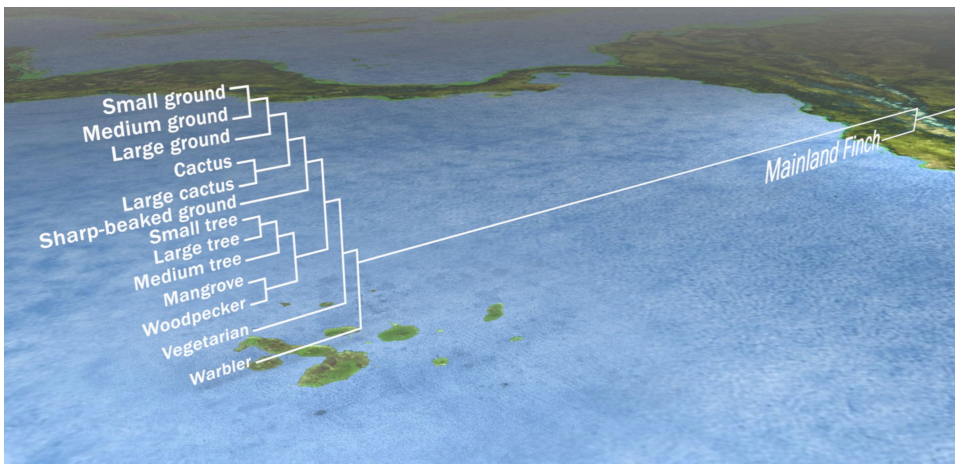
El primer grupo de pinzones probablemente llegó a una de las Islas Galápagos y con el tiempo se diversificó en diferentes especies de aves. La población fundadora original se extinguió y, probablemente, otras especies también. Las 13 especies que habitan las islas actualmente son el resultado de 2 millones de años de evolución.

Cuando la primera población ancestral de pinzones llegó a las Galápagos, muchos de los nichos ecológicos aún estaban disponibles dado que las islas eran jóvenes y había poca o ninguna competencia por los recursos. A medida que las diferentes poblaciones de pinzones ocuparon estos nichos, evolucionaron adaptaciones que les permitieron sobrevivir en diferentes hábitats. Así, en un periodo relativamente corto, se formaron especies diferentes de pinzones a partir de una sola población ancestral; un proceso llamado radiación adaptativa.

El origen de las especies: el pico del pinzón

Hoy, 13 especies de pinzones viven en el archipiélago de las Galápagos y una adicional en la Isla del Coco, una isla deshabitada frente a la costa de Costa Rica ubicada a unos 720 km al norte de las Islas Galápagos. Esta rápida radiación de las especies de pinzones no habría ocurrido si todos los nichos ecológicos hubieran estado ocupados.

Como se ilustra en la siguiente figura del árbol filogenético, cuando la población fundadora se dividió en dos descendientes, una de las descendientes evolucionó en el pinzón cantor u oliváceo y la otra dio origen a todas las demás especies de pinzones. El pinzón cantor u oliváceo es el único pinzón de Galápagos insectívoro que puede atrapar insectos mientras vuela. Miles de años después, la población de pinzones se dividió y un descendiente condujo al pinzón vegetariano y el otro al ancestro del resto de las especies de pinzones. El pinzón vegetariano recibe su acertado nombre porque su dieta se compone principalmente de frutos, capullos y flores. Los últimos dos grupos, que luego formaron sus propias ramas en el árbol genealógico de los pinzones de Galápagos, son los pinzones de árbol, insectívoros, y los pinzones terrestres y de cactus, consumidores de semillas.



Árbol filogenético de los pinzones. Las comparaciones de secuencias de ADN revelaron las relaciones evolutivas entre las especies de pinzones. Los datos muestran que todas las especies de pinzones que habitan en las Islas Galápagos actualmente están relacionadas más estrechamente entre ellas que con cualquier otra especie de la tierra continental, lo que sugiere que se originaron de un ancestro común.

Columna izquierda, de arriba a abajo, Pinzón: terrestre pequeño, terrestre mediano, terrestre grande, de cactus, grande de cactus, terrestre de pico fino, pequeño de árbol, grande de árbol, mediano de árbol, de manglar, carpintero, vegetariano y cantor u oliváceo. Columna derecha: Pinzón de la tierra continental.

El tamaño y forma del pico es un rasgo muy diverso entre las especies de pinzones de las Galápagos. Por ejemplo, el pinzón de cactus (*Geospiza scandens*) tiene un pico largo y puntiagudo, capaz de perforar y abrir frutos de cactus para comer sus semillas. También come el polen y néctar de las flores de los cactus. Por otro lado, el pinzón terrestre mediano (*Geospiza fortis*) tiene un pico más corto y romo, por lo que solo puede comer las semillas de los cactus una vez los frutos caen al suelo o son abiertos por los pinzones de cactus. Sin embargo, puede abrir algunas especies de semillas más grandes y robustas que el pinzón de cactus no puede abrir.

Tabla 1. Los pinzones de Galápagos

Nombre científico	Nombre en español	Peso aproximado (gramos)
<i>Geospiza fuliginosa</i>	Pinzón terrestre pequeño	14
<i>Geospiza fortis</i>	Pinzón terrestre mediano	20
<i>Geospiza magnirostris</i>	Pinzón terrestre grande	34
<i>Geospiza difficilis</i>	Pinzón terrestre de pico fino	20
<i>Geospiza scandens</i>	Pinzón de cactus	21
<i>Geospiza conirostris</i>	Pinzón grande de cactus o conirrostro	28
<i>Camarhynchus parvulus</i>	Pinzón pequeño de árbol	13
<i>Camarhynchus pauper</i>	Pinzón mediano de árbol	16
<i>Camarhynchus psittacula</i>	Pinzón grande de árbol	18
<i>Camarhynchus pallidus</i>	Pinzón carpintero	20
<i>Camarhynchus heliobates</i>	Pinzón de manglar	18

<i>Platyspiza crassirostris</i>	Pinzón vegetariano	35
<i>Certhidea olivacea</i>	Pinzón cantor u oliváceo	8

Adaptación y especiación

La mayor parte de la investigación de los Grant se enfoca en el pinzón terrestre mediano y el pinzón de cactus, ambos de la isla Dafne Mayor. Al observar estas aves año tras año durante cuatro décadas, han podido demostrar que a medida que el ambiente cambia, también cambian los rasgos de las aves.

La película muestra que cuando la isla Dafne Mayor sufrió una sequía extrema en 1977, el alimento rápidamente escaseó. Los pinzones terrestres medianos tienen picos robustos ideales para recoger semillas del suelo, pero los tamaños del pico varían dentro de las poblaciones de pinzones terrestres medianos. Cuando las semillas eran abundantes tenían tamaños diferentes y todos los pinzones terrestres medianos tenían alimento suficiente. Pero



La isla Dafne Mayor. Es una de las más pequeñas (aproximadamente un cuarto de milla de diámetro) y menos accesibles islas del archipiélago de Galápagos. Nunca ha estado habitada por humanos permanentemente.

(Foto cortesía de John van de Graaff.)

después de la sequía, las semillas más pequeñas y suaves de los cactus y otras plantas se consumieron hasta que casi no quedó ninguna. Los pinzones terrestres medianos con los picos más pequeños se quedaron sin alimento y comenzaron a morir. Mientras que los pinzones más grandes, con picos más grandes, aún podían alimentarse de las semillas más grandes y duras de una planta llamada abrojo o cadillo. Estas aves tenían una ventaja para la supervivencia, pero incluso para ellas era un gran esfuerzo manejar este tipo de semillas, que están cubiertas de espinas afiladas. Había alrededor de 1,200 pinzones terrestres medianos al principio de la sequía, pero sobrevivieron menos de 200; una pérdida de 85%. La mayoría de los sobrevivientes eran más grandes con picos más grandes (aunque la película solo menciona los pinzones terrestres medianos, 60% de los pinzones de cactus de Dafne Mayor también murieron). Los pinzones terrestres medianos de picos más grandes que sobrevivieron se reprodujeron luego de la sequía.

Los Grant descubrieron que, al año siguiente, los descendientes de los pinzones terrestres medianos que habían sobrevivido tenían picos similares en tamaño a los de sus padres, lo que muestra que el rasgo del tamaño del pico es altamente heredable. El tamaño promedio del pico de las aves de la nueva población posterior a la sequía resultó ser 4% más grande. Cuatro por ciento es un gran cambio en un corto tiempo y es consistente con la interpretación de que el tamaño del pico es un rasgo heredado que tiene una influencia importante sobre la supervivencia de un pinzón individual.

Los Grant están entre los pocos científicos que han presenciado y medido directamente los cambios evolutivos que ocurren en tiempo real. Pero ¿cómo es que los cambios como los que observaron conducen a especies nuevas? Para empezar a contestar esa pregunta, se debe considerar un ingrediente adicional, el aislamiento reproductivo. Una definición amplia de especie es un grupo de individuos que pueden aparearse entre ellos y que están aislados reproductivamente y, por lo tanto, genéticamente de otros grupos. Cuando las poblaciones de pinzones inicialmente ocuparon hábitats diferentes en la misma isla de Galápagos, la reproducción entre todos los pinzones probablemente era común, lo que permitía el intercambio genético entre ellos. Sin embargo, a medida que las poblaciones se fueron aislando en diferentes islas, la reproducción entre miembros de dos poblaciones distintas disminuyó. Se hizo menos probable que los cambios genéticos responsables de los cambios en el tamaño

y la forma del pico, el tamaño del cuerpo y la ecología alimenticia se compartieran entre las diferentes poblaciones. Estos cambios también fueron acompañados por cambios en los cantos de las aves.

Los Grant ha demostrado que ciertas diferencias en los cantos y apariencias evitarán que dos especies de pinzones se entrecrucen, y por tanto las mantendrá aisladas genéticamente una de la otra, incluso si viven en la misma área. Cuando llega el momento de elegir pareja, los pinzones usan en gran medida la apariencia y el canto. Los pinzones de las Galápagos aprenden el canto de su especie durante un corto periodo temprano en su vida, usualmente de su padre, y conservan ese canto toda la vida. Durante la especiación, los cambios en el canto de una población proporcionan una barrera conductual que interrumpe el intercambio de genes con otras poblaciones. Una vez que esta barrera está presente, las diferencias genéticas pueden acumularse en poblaciones distintas, aunque habiten en la misma ubicación geográfica. Eventualmente, estos cambios se hacen tan numerosos que los miembros de una población no podrán producir descendencia fértil con los miembros de otra población. Se habrán convertido en especies distintas.

Las actuales especies de pinzones de las Galápagos tienden a ser reservadas, pero algunas aún son capaces de intercambiar genes. En casos raros, los Grant han demostrado que un pinzón de cactus podría aparearse con un pinzón terrestre mediano en Dafne Mayor y producir descendencia fértil. Esto podría ocurrir, por ejemplo, si un pinzón macho aprende el canto equivocado de un vecino. Los híbridos pueden sobrevivir y reproducirse bajo algunas circunstancias, específicamente si existe un suministro rico de semillas de tamaño intermedio apropiadas para las aves con picos de tamaño intermedio.

PUNTOS DE DISCUSIÓN

- En un curso de biología de nivel avanzado, los estudiantes podrían aprender acerca de la especiación alopátrica, parapátrica y simpátrica. Éstos son los tres mecanismos principales para la especiación descritos en los libros de texto. La especiación alopátrica se da cuando dos poblaciones están completamente aisladas geográficamente una de la otra y no ocurre flujo de genes entre ellas. Los cambios genéticos de una población nunca se comparten con otra población. Cuando la población fundadora de aves consumidoras de semillas llegó a las recién formadas Islas Galápagos, se aisló de su población continental. Sin embargo, la especiación alopátrica no explica el origen de todas las especies nuevas. Por ejemplo, en la especiación parapátrica, los genes fluyen ocasionalmente entre dos poblaciones que tienen rangos geográficos adyacentes. Los genes podrían seguir fluyendo intermitentemente entre las poblaciones de pinzones de islas cercanas, pero es raro. En la especiación simpátrica, el flujo genético es común, debido a que ambas poblaciones viven en la misma área geográfica, aunque ocupen partes diferentes del mismo hábitat. Cuando la especiación ocurre en poblaciones simpátricas, hay selección en contra de uno o más rasgos responsables del apareamiento. Tales rasgos incluyen los que afectan la apariencia, la capacidad para tolerar ciertos extremos ambientales o el momento de reproducción para las dos poblaciones (por ejemplo, primavera o verano). En el caso de los pinzones de Galápagos, la mayoría de los investigadores piensan que las especies se formaron originalmente por aislamiento geográfico (o por alopatría). Después permanecieron como especies distintas, principalmente debido a mecanismos de aislamiento conductual que mantuvieron a los miembros de especies diferentes separados, aun si entraban en contacto.
- El narrador de la película explica que una especie se define como un grupo de organismos cuyos miembros no se reproducen con miembros de otros grupos. Esto se conoce como el concepto de especie biológica, dado a conocer por primera vez por el biólogo evolutivo Ernst Mayr y es la definición que más frecuentemente se enseña a los alumnos. Este concepto enfatiza el aislamiento reproductivo. Sin embargo, como la capacidad para aparearse y producir descendientes híbridos es difícil de probar, los biólogos se enfocan en el tamaño, forma y color para agrupar a los individuos en especies distintas.

- El narrador de la película revela que el tamaño del pico promedio de los pinzones terrestres medianos incrementó en más de 4% desde el inicio de la sequía de 1977 hasta después de terminada. Este cambio es casi imperceptible para el ojo humano. Sin embargo, enfatice a los estudiantes que, para un ave que ya está cerca de morir de hambre y cuyo único medio de obtener alimento es recoger semillas y manipularlas hasta que estén correctamente posicionadas para abrirlas, un pico 4% más grande podría significar la diferencia entre la vida y la muerte. Puede pedir a los estudiantes que imaginen que su única ruta para la supervivencia sería tener la capacidad de recoger un balón de básquetbol con una sola mano. Los dedos 4% a 6% más largos que el promedio podrían ser una gran ventaja. También podría considerar abrir una nuez con dos alicates de diferentes tamaños para demostrar cómo una pequeña ventaja mecánica puede tener un impacto enorme. También resalte que 4% es un número promedio. Los individuos que tienen picos 1% más pequeños están en desventaja, mientras que aquellos con picos 8% o 10% más pequeños tienen una gran desventaja. La supervivencia es probabilística, la probabilidad de supervivencia para las aves con picos que son 10% o más pequeños que el promedio es extremadamente baja, mientras que para las aves con tamaños de pico cercanos al promedio, la probabilidad es alta e incluso mayor para aquellos con tamaños de pico superiores al promedio.
- Los estudiantes podrían estar confundidos con la idea de que los cambios en el tamaño del pico descritos como resultado de la sequía representan un ejemplo de especiación. Los pinzones terrestres medianos que sobrevivieron a la sequía y su descendencia, que heredó picos más grandes, siguen siendo pinzones terrestres medianos. Estos cambios en el tamaño del pico representan adaptaciones en respuesta a la selección natural. Si cambios como éstos ocurren durante miles de generaciones y para diferentes rasgos, incluidos los involucrados en el aislamiento reproductivo, entonces las poblaciones podrían estar en camino a convertirse en especies nuevas.
- Es importante ayudar a los estudiantes a comprender que la frecuencia y ritmo de la especiación varían a lo largo de la historia evolutiva. Generalmente evolucionan menos especies nuevas cuando las condiciones ambientales son constantes. Las condiciones que cambian rápidamente y los eventos ambientales disruptivos pueden provocar una especiación más rápida. La llamada Explosión Cámbrica es un ejemplo de especiación de animales relativamente veloz y raro, igual que la especiación que ocurrió luego de los eventos de extinción asociados al cambio ambiental en el Mesozoico y el Pérmico. Los pinzones de las Galápagos son un buen ejemplo de una radiación adaptativa ocurrida recientemente y durante un periodo de tiempo relativamente corto. El hecho de que los Grant hayan observado directamente los cambios adaptativos nos da información acerca de cómo la selección natural puede contribuir al proceso de especiación.
- Enfatice a los estudiantes que las Islas Galápagos son un lugar ideal para estudiar procesos evolutivos como la selección natural y la radiación adaptativa, ya que son islas jóvenes geológicamente, remotas y relativamente libres de perturbaciones. Se puede encontrar evidencia de la evolución adaptativa entre otras especies isleñas. Por ejemplo, los mieleros de las islas hawaianas han evolucionado de formas muy similares a los pinzones de las Galápagos, pero las islas hawaianas han sido habitadas por humanos durante miles de años y los hábitats han sido extensivamente alterados por las actividades humanas y por las especies introducidas a las islas por los humanos. Estos factores hacen más desafiante el estudiar a los mieleros que a los pinzones de las Galápagos.
- Los estudiantes podrían preguntar si hay ejemplos de radiación adaptativa además de los pinzones de las Galápagos. De hecho, se han estudiado otros ejemplos de radiación adaptativa. Los cíclidos africanos son uno de los más notables. Los cíclidos son un grupo diverso de peces de agua dulce, algunos de los cuales viven en lagos y ríos de África occidental. En los últimos 10 millones de años, los cíclidos africanos han evolucionado en más de 2,000 especies diferentes. Los científicos han propuesto tres etapas principales en la radiación adaptativa de los cíclidos. En la primera etapa, las especies de cíclidos divergieron en usos muy diferentes de hábitats, al igual que los pinzones terrestres y los de árbol. En la segunda etapa, tal como los cambios en las

formas del pico entre los pinzones, las formas de la boca divergieron entre las especies de cíclidos adaptándose a consumir diferentes tipos de alimento. En la última etapa, la divergencia ocurre en las señales utilizadas en el reconocimiento de la especie, generalmente el color de los machos. Esta selección sexual por elección de la hembra fomenta cambios en la apariencia de los peces. Este último mecanismo es similar a la elección de pareja de los pinzones, que depende de la forma general del cuerpo de la posible pareja y del canto del macho. Otro ejemplo de radiación adaptativa son los lagartos Anolis. Haga que sus estudiantes vean el cortometraje relacionado [El origen de las especies: lagartijas en un árbol evolutivo](#) y haga que mencionen las semejanzas y diferencias entre los pinzones y los anolis.

CÓMO USAR LA HOJA DE TRABAJO

La hoja de trabajo para el estudiante está diseñada para evaluar la comprensión del alumno de los conceptos clave discutidos en la película. Puede además ser usada antes o durante la película para evaluar conocimientos previos o para guiar a los estudiantes a prestar atención a conceptos importantes. Se recomienda al docente que elija el uso que mejor se adapte a sus objetivos de aprendizaje y a las necesidades de sus estudiantes. Debido a la complejidad del vocabulario y de los conceptos, se recomienda al docente modificar la hoja de trabajo según sus necesidades (por ejemplo, usando solo algunas de las preguntas o añadiendo explicaciones para aclarar terminología complicada).

RESPUESTAS PARA LA HOJA DE TRABAJO DEL ESTUDIANTE

Se indican los conceptos clave que cubre cada pregunta y las respuestas están marcadas en negrillas. La hoja de trabajo para el estudiante está disponible en un archivo aparte.

- (Concepto Clave B) ¿Cuál es la explicación más probable para la presencia de 13 especies diferentes de pinzones en las Islas Galápagos hoy?
 - Hace muchos años varias especies de aves migraron a las islas y las 13 especies de pinzones que hoy viven allí son las únicas que sobrevivieron.
 - Hace muchos años una pequeña población de una sola especie de aves migró a las islas y evolucionó en las 13 especies de pinzones que hoy viven allí.***
 - Cada una de las 13 especies migró a las islas en diferentes ocasiones a través de los años.
 - Una sola especie de aves migró a una isla en la época del viaje de Charles Darwin a las Galápagos y después migró a las 13 islas.
- (Concepto Clave C) Los picos de las diferentes especies de pinzones tienen formas y tamaños variados. Estas diferencias en la estructura de los picos son evidencia de _____
 - Diferentes especies de pinzones adaptándose a diferentes ambientes a través de muchas generaciones.***
 - Diferentes especies de pinzones con diferentes estructuras de pico que llegaron a las Islas Galápagos desde el continente.
 - Diferentes poblaciones de pinzones que están relacionadas evolutivamente.
 - Aves individuales que han cambiado sus características del pico para poder alimentarse eficientemente.
- (Concepto Clave B) Examina el siguiente árbol filogenético de las 13 especies de pinzones. ¿Cuál de las siguientes aseveraciones es una interpretación correcta del árbol filogenético de la ilustración anterior?

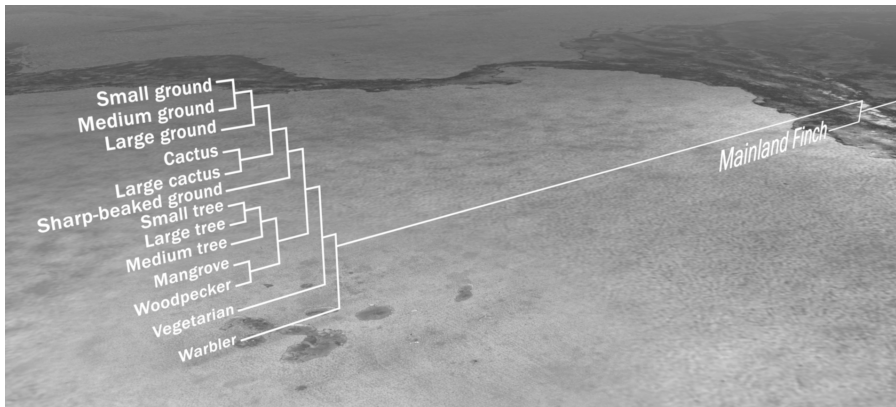


Figura. Columna izquierda, de arriba a abajo, Pinzón: terrestre pequeño, terrestre mediano, terrestre grande, de cactus, grande de cactus, terrestre de pico fino, pequeño de árbol, grande de árbol, mediano de árbol, de manglar, carpintero, vegetariano y cantor u oliváceo. Columna derecha: Pinzón de tierra continental.

- a. El pinzón terrestre de pico fino y el pinzón pequeño de árbol están relacionados más estrechamente entre sí, que cualquiera de las dos especies con el pinzón de cactus.
 - b. El pinzón cantor u oliváceo es el ancestro común para todas las especies de pinzón que existen actualmente en las Islas Galápagos.
 - c. ***Todos los pinzones de las Galápagos están relacionados más estrechamente entre ellos que con las especies del continente.***
 - d. Las 13 especies de pinzones evolucionaron en secuencia; el pinzón cantor u oliváceo es la especie más antigua y el pinzón terrestre pequeño es la especie que evolucionó más recientemente.
4. (Concepto clave D) ¿Cuáles datos experimentales mostrados en la película proveen la mejor evidencia de que el pinzón de cactus y el pinzón terrestre mediano de Dafne Mayor son especies distintas?
- a. Murieron más pinzones terrestres medianos que pinzones de cactus en respuesta a la sequía.
 - b. ***Los pinzones de cactus y los pinzones terrestres medianos machos solamente intentaron aparearse con hembras de su propia especie.***
 - c. El pinzón de cactus y el pinzón terrestre mediano consumen diferentes tipos de alimento.
 - d. Las hembras de pinzón terrestre mediano y de pinzón de cactus tienen diferentes marcas y color de plumaje.
5. (Concepto clave A) Imagina que te encuentras estudiando una población de pinzones en una de las Islas Galápagos. Has estado registrando muchas de las características físicas de las aves, entre ellas la longitud de ambas alas. Observas que para 80% de los individuos medidos, no hay diferencias significativas en la longitud del ala izquierda y del ala derecha (en otras palabras, son simétricas). Pero para un 20% de las aves medidas, las longitudes de las alas son asimétricas. Esta distribución se mantiene de generación en generación. De repente, una rara tormenta de viento azota la isla durante 5 días. Después de la tormenta mides las alas de las aves que sobrevivieron. Descubres que 85% de las aves con alas simétricas sobrevivió a la tormenta, mientras que sólo 5% de las aves con alas asimétricas sobrevivió.
- a. Propón una hipótesis para explicar esta observación.
Una respuesta completa a esta pregunta debería incluir la explicación de que las aves con alas simétricas fueron más exitosas en volar durante la tormenta de viento, quizá para encontrar alimento o refugio, mientras que las aves con alas asimétricas podrían no haber sido capaces de maniobrar bien en el viento fuerte o podrían haber gastado más energía para realizar bien las mismas maniobras en el fuerte viento que las aves con alas simétricas.
 - b. Si estas tormentas comienzan a hacerse más comunes debido a cambios en el clima, ¿Qué cambios esperarías ver a lo largo del tiempo en la simetría de las alas de esta población?
Las respuestas de los estudiantes podrían incluir el que la distribución de simetría a asimetría cambiará de forma que cerca del 100% de las aves tendrán envergaduras simétricas.

6. (Concepto clave E) ¿Cuál(es) de los siguientes enunciados describen las poblaciones aisladas geográficamente? Lee los cinco enunciados y selecciona la respuesta adecuada, a-d.
- Las dos poblaciones viven en islas diferentes.
 - Una población se reproduce a finales de la primavera y la otra se reproduce a finales del verano.
 - Una población consume mayormente semillas pequeñas y suaves, y la otra mayormente semillas grandes y duras.
 - Los machos de una población tienen un canto de apareamiento diferente al de los machos de la otra población.
 - Las hembras de las dos poblaciones se ven iguales.
 - el enunciado i solamente**
 - los enunciados i y iv solamente
 - los enunciados ii, iii y v solamente
 - el enunciado iv solamente
7. (Concepto Clave F) ¿Cuál(es) de las siguientes observaciones proporcionan evidencia de que probablemente ambas poblaciones experimentan aislamiento reproductivo y hay poco o ningún intercambio genético entre ellas? Lee las cinco observaciones y selecciona la respuesta correcta, a-d.
- Las dos poblaciones viven en islas diferentes.
 - Una población se reproduce a finales de la primavera y la otra se reproduce a finales del verano.
 - Una población consume mayormente semillas pequeñas y suaves, y la otra mayormente semillas grandes y duras.
 - Los machos de una población tienen un canto diferente al de los machos de la otra población.
 - Las hembras de las dos poblaciones se ven iguales.
 - el enunciado i solamente
 - los enunciados iii y v solamente
 - los enunciados i, ii y iv solamente**
 - los enunciados ii y iv solamente
8. (Concepto Clave F) ¿Cómo probaron los Grant su hipótesis de que las diferencias en los cantos de las aves pueden evitar que las diferentes especies de pinzones se apareen unas con otras?
- Observaron cuáles aves se apareaban entre ellas y escucharon los cantos que hacían estas aves.
 - Grabaron aves cantando en la isla Dafne Mayor durante una temporada de apareamiento completa para ver qué tipo de canto era usado más frecuentemente por cada especie.
 - Ellos reproducían los cantos de los pinzones terrestres medianos y de los pinzones de cactus en un altavoz en momentos diferentes cuando los individuos de ambas especies se encontraban presentes, para ver qué especies respondían a cada canto.**
 - Ellos reproducían el canto del pinzón terrestre mediano para machos de pinzón terrestre mediano en un altavoz para ver si respondían; después reprodujeron el canto del pinzón de cactus para machos de pinzón de cactus para ver si respondían.
9. (Concepto Clave F) Escoge la evidencia presentada en la película que explica tu respuesta a la pregunta 8.
- Los machos se acercaron al altavoz únicamente cuando se reproducía el canto de su propia especie.**
 - El tipo de canto usado más frecuentemente durante la temporada reproductiva fue el de la especie más abundante.
 - Durante el apareamiento, las aves hacían los cantos de su propia especie.

10. La Figura 1 muestra el tamaño del pico de 200 pinzones terrestres medianos de Dafne Mayor antes de que comenzara una sequía severa en la isla. Ésta es una muestra normal de una población de pinzones terrestres medianos, similar a muestras medidas en años anteriores. Durante los años húmedos todos los tipos de semillas son abundantes. El pinzón terrestre mediano prefiere consumir semillas pequeñas y

suaves, fáciles de romper. Sin embargo, durante las sequías, cuando las semillas pequeñas no son tan abundantes, también consumen las semillas más grandes de la isla.

- Haz dos o tres observaciones acerca de la distribución de las medidas del tamaño del pico en esta muestra de 200 pinzones terrestres medianos.

La forma de la distribución es como una curva tipo campana (algunos estudiantes la podrían describir como una colina o un arco) en la que la mayoría de las mediciones se encuentran en el medio y sólo algunas pocas mediciones de los picos de las aves están en los extremos.

- ¿Cuál es el tamaño del pico más común entre los pinzones que vivían en Dafne Mayor en 1976?
8.8 mm
- ¿Cuál es el intervalo del tamaño del pico en este grupo de pinzones terrestres medianos?
7.3 – 10.8 mm

11. (Concepto Clave G) La Figura 2 muestra la misma gráfica que la Figura 1, pero incluye las aves que sobrevivieron a la sequía en las barras negras.

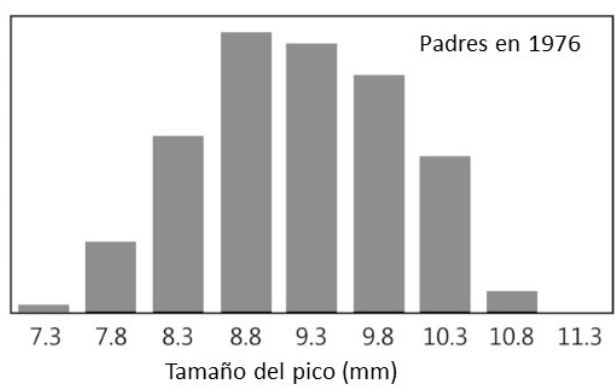
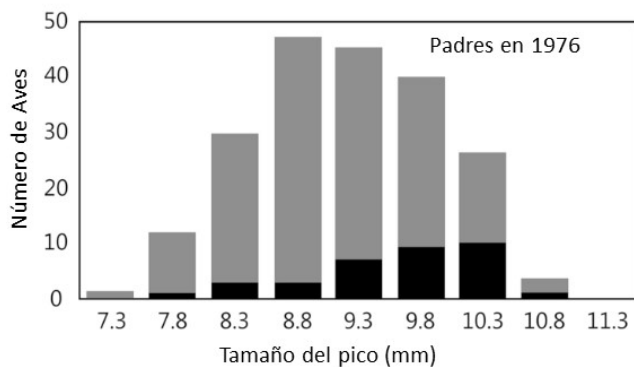


Figura 1. Tamaños de pico de una muestra de 200 pinzones terrestres medianos que vivían en Dafne Mayor en 1976

Figura 2. Tamaños de pico de los pinzones terrestres medianos que vivían en Dafne Mayor en 1976 (barras grises) y de los pinzones que sobrevivieron a la sequía de 1977 (barras negras).

- ¿Aproximadamente, qué porcentaje de las aves con el tamaño del pico más común en 1976 (tu respuesta a la pregunta núm.10b) sobrevivió a la sequía? (Muestra tu trabajo) **5%**
- Compara el grupo original de pinzones terrestres medianos (barras grises) con el grupo de sobrevivientes (barras negras). Enumera dos observaciones que puedas hacer usando los datos provistos en la gráfica. Considera tanto el número de aves, como las características del pico.
La población original era mucho mayor, con más de 200 individuos cuyo tamaño del pico más común fue 8.8 mm. La población de sobrevivientes consistió en menos de 40 individuos cuyo tamaño del pico más común fue 10.3 mm.
- Proporciona una posible explicación para el cambio en el número de aves y en las características del pico.

Muchas aves murieron debido a que no pudieron abrir las semillas grandes. Aquéllas con tamaños del pico mayor fueron más exitosas en abrir las semillas grandes y como resultado, sobrevivieron.

12. (Concepto Clave G) La Figura 3 representa los tamaños del pico los descendientes de los pinzones que sobrevivieron a la sequía de 1977 (los sobrevivientes fueron representados por las barras negras en la Figura 2 y esta gráfica muestra la distribución del tamaño del pico de los descendientes en 1978).

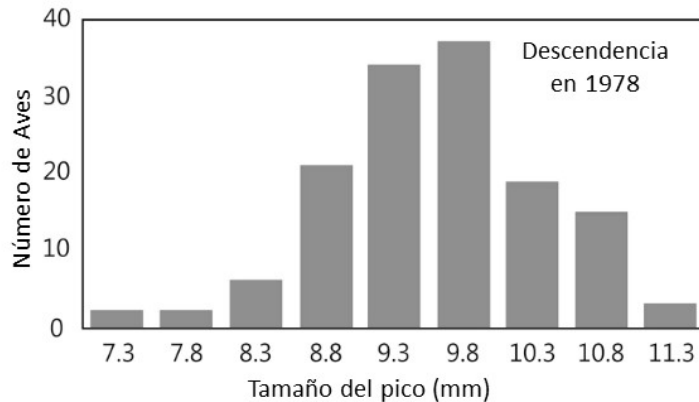


Figura 3. Tamaños de pico de los descendientes de los pinzones terrestres medianos que sobrevivieron a la sequía de 1977.

Identifica y describe las similitudes y diferencias entre este grupo de pinzones terrestres medianos y los siguientes grupos:

- a. la muestra de 200 pinzones terrestres medianos medidos en 1976 (Figura 1).

El número de individuos ha aumentado, acercándose al número de aves presentes en la población antes de la sequía. Sin embargo, el tamaño del pico más común ha aumentado de 8.8 mm a 9.8 mm.

- b. la muestra de pinzones terrestres medianos que sobrevivieron a la sequía de 1977 (Figura 2, barras negras).

El número de descendientes es mayor que el número de padres que los produjeron. Sin embargo, el tamaño del pico más común no es tan grande como el tamaño del pico parental y el intervalo de tamaños del pico es mayor que el de los padres.

13. Explica el cambio observado en las características del pico utilizando los siguientes conceptos en tu respuesta: competencia, supervivencia del más apto, herencia.

Durante la sequía, la competencia por las semillas pequeñas escasas fue intensa. Muchos no pudieron competir exitosamente y murieron. Las aves con tamaños del pico más grandes pudieron alimentarse más exitosamente de semillas grandes que las aves con tamaño del pico pequeño no podían abrir. El tamaño del pico más grande dio a aquellas aves una ventaja selectiva y ellas pudieron sobrevivir. Cuando los sobrevivientes se reprodujeron, su descendencia heredó el rasgo del tamaño del pico más grande.

REFERENCIAS

- Darwin, C. 1867. Carta. En F. Burkhardt, D. M. Porter, S. A. Dean, S. Evans, S. Innes, A. M. Pearn, A. Sclater y P. White, Eds. 2006. The correspondence of Charles Darwin: volume 15, 1867. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Grant, P. R. y B. R. Grant. 2008. How and Why Species Multiply. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Kocher, T. D. 2004. Adaptive evolution and explosive speciation: the cichlid fish model. Nature Reviews Genetics 5:288-298.
- Weiner, J. 1994. The Beak of the Finch. Alfred A. Knopf, Inc., New York.

AUTORES

Escrito por Paul Strode, PhD, Fairview High School, Boulder, Colorado y Laura Bonetta, PhD, HHMI; hoja de trabajo de Paul Strode y Mary Colvard, Cobleskill-Richmondville High School (retirada), Deposit, New York

Editado por Laura Bonetta, PhD y Dennis Liu, PhD, HHMI y Ann Brokaw, Rocky River High School, OH; Susan Dodge

Ilustraciones de Fabian de Kok Mercado

Revisado por Peter Grant, PhD y Rosemary Grant, PhD, Princeton University; Jonathan Losos, PhD, Harvard University

Prueba en campo de Nancy Bates, The Young Women's Leadership School Bronx; Susan Campbell, Brentwood High School; Moira Chadzutko, St. John the Baptist Diocesan High School; Noreen Kohler, Phoenix Academy; Kirsten Landry, Regis Jesuit High School; Katie Lodes, St. Joseph's Academy; Ioana Paunescu, International Community High School; Patricia Richards, Walter Johnson High School; Kimberly Snook, Haslett High School; Jessica Ullrich, Brentwood High School

Traducido por C. Gerardo González R., preparatoria ITESM, CSF; y editado por Isabel Parés Ramos, MS, Urbánica P.C. y Zulmarie Pérez Horta, PhD, HHMI.