Junio 2016 Número 89

# Ciencia de los Orígenes

Una Publicación del Geoscience Research Institute





## **GEOSCIENCE**

RESEARCH INSTITUTE

**NÚMERO 89** 

**JUNIO 2016** 

DIRECTOR: James Gibson
JEFE DE REDACCIÓN: Raúl Esperante
DISEÑO GRÁFICO: Dany Schimpf
CONSEJO EDITORIAL: Benjamin Clausen,
Ronny Nalin, Timothy Standish
CIRCULACIÓN: Carol Olmo

#### MISIÓN

El Geoscience Research Institute es una institución de la Iglesia Adventista del Séptimo Día con la misión de estudiar y compartir el conocimiento sobre la naturaleza y su relación con la revelación Bíblica de Dios el Creador.

El Instituto se compromete a servir a la Iglesia Adventista del Séptimo Día en su misión de predicar el evangelio y llevar la verdad de salvación en Jesucristo a todo el mundo.





Si usted habla inglés le invitamos a seguirnos en Facebook: facebook.com/ geoscienceresearchinstitute

También tenemos un blog en inglés: http://grisda.wordpress.com/

Notas del Director

## Las Islas Galápagos

POR L. JAMES GIBSON

as plantas y los animales de las islas Galápagos son uno de los iconos más conocidos de la evolución. Según la tradición, fue aquí donde Charles Darwin recibió su inspiración para su hipótesis de que la selección natural proporciona un mecanismo para explicar cómo todos los organismos podrían haberse diversificado a partir de un antepasado común. ¿Qué tienen que decir los creacionistas acerca de la extraordinaria vida de las Galápagos?

Una cosa que hemos aprendido de estas plantas y animales es que la selección natural parece haber estado trabajando en las adaptaciones locales de las distintas especies que se encuentran en las islas. Es razonable suponer que las diversas especies de pinzones de las Galápagos descienden de un antepasado común. De la misma manera, los cucuves, las tortugas gigantes, las plantas Scalesia y otros grupos característicos habrían descendido, cada uno, de antepasados prehistóricos que llegaron a las islas solos o en pequeños grupos. Es igualmente razonable suponer que la selección natural pudo contribuir a la adaptación de estas especies a los ambientes de las islas. Pero ¿es razonable extrapolar estas adaptaciones locales que suponen pequeñas modificaciones de estructuras preexistentes e invocar que el mismo mecanismo de selección natural es responsable del origen de todos los tipos de plantas y animales, con sus diversos planes corporales, a partir de un único antepasado, común a todos ellos? No.

Las islas Galápagos no nos proporcionan ningún ejemplo de la aparición de nuevos órganos, estructuras corporales o tipos de animales por medio de la selección natural — o por cualquier otro procedimiento. Vemos una amplia evidencia de adaptación local, pero las aves, reptiles y plantas de las islas pertenecen claramente a grupos mayores con miembros similares en América del Sur.

No proporcionan pruebas de que la selección natural sea una fuerza creativa como requiere la teoría de Darwin. Por el contrario, la flora y la fauna de Galápagos son consistentes con la idea creacionista de que los grupos fueron creados por separado, dotados de herramientas genéticas para que puedan adaptarse a cambios locales en el clima y el hábitat, pero sin la capacidad para desarrollar nuevos órganos, estructuras corporales o tipos de organismos.

La lectura de esta edición de Ciencia de los Orígenes le permitirá aprender más de estas fascinantes islas y su biota única.

## La Geología de las Islas Galápagos

Lava desde el centro de la tierra

POR BENJAMIN CLAUSEN

Muchas personas piensan que las islas Galápagos son un lugar ideal para una escapada debido a su hermosura o a la presencia de animales exóticos como iguanas y tortugas, y aves como los pingüinos, los piqueros de patas azules, las fragatas y los pinzones de Darwin. Sin embargo, la geología de las islas es también muy interesante. Las islas principales que se muestran en la figura 1 son todas volcánicas.

La geología de las islas Galápagos se explica en el marco de la tectónica de placas, como se muestra en la figura 2. La placa de Cocos se mueve hacia el noreste en ángulo desde el Centro de Expansión de Galápagos y subduce bajo la placa Caribe, lo que desencadena actividad volcánica en América Central. La placa de Nazca se mueve hacia el este-sudeste en ángulo desde el Centro de Expansión de Galápagos y subduce bajo la placa Sudamericana donde provoca actividad volcánica en los Andes. A medida que las placas de Cocos y Nazca se mueven, el magma líquido sube por el Centro de Expansión, añadiendo roca a estas dos placas oceánicas.

Además de formar nueva corteza en un centro de expansión, el magma

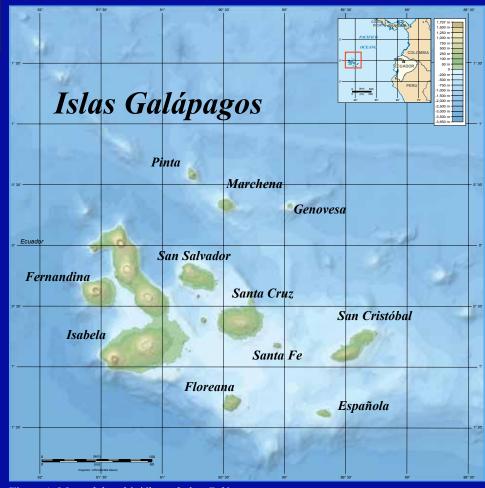


Figura 1: Mapa del archipiélago de las Galápagos.

también puede formar nuevos volcanes en medio de una placa. Es lo que se llama un punto caliente o pluma de magma en el manto terrestre. Un punto caliente o una pluma de magma suele estar relativamente inmóvil, y a medida que la placa oceánica se desplaza sobre la pluma, el magma de la pluma atravesará la corteza y emitirá lava al exterior formando volcanes. Se supone que las islas Galápagos se formaron por la emisión de lava en un punto caliente bajo la placa de Nazca originando los volcanes de Galápagos. En el pasado este punto caliente estuvo debajo de la placa de Nazca y formó la cordillera submarina de Carnegie (y tal vez la cordillera submarina de Malpelo) a medida que la placa se movía sobre él. Anteriormente el punto caliente estuvo bajo el Centro de Expansión de Galápagos y tal vez debajo de la placa de Cocos y formó la cordillera submarina de Cocos. Se cree que antes de formar estas cordilleras el punto caliente de las Galápagos había formado las rocas volcánicas del margen noroeste de América del Sur y el Caribe.

Con este modelo de la placa de Nazca moviéndose sobre un punto calien-

te como se muestra en la figura 3, uno se puede hacer una idea de cómo se formó la cordillera submarina de Carnegie. En la actualidad, el punto caliente todavía está activo debajo de las islas occidentales más recientes, como Isabela y Fernandina. Las islas orientales más antiguas, como Santa Fe y Española, están inactivas. Todavía más hacia el este existen algunos antiquos volcanes que forman montañas submarinas a 1500m bajo el nivel del mar. Un punto caliente similar que se halla en el océano Pacífico central ha formando la cadena de islas hawaianas más jóvenes y los montes submarinos Emperador, aunque allí las islas son más lineales y muestran más actividad volcánica que las islas Galápagos.

Para complicar las cosas se piensa que no todas las rocas volcánicas de Galápagos provienen de la actividad del punto caliente bajo las islas. La presencia de isótopos de plomo, estroncio y neodimio sugiere que el magma del punto caliente se mezcló con magma de otros reservorios, incluyendo el Centro de Expansión de Galápagos, corteza oceánica subducida y material rocoso similar al de la Cordillera del océano Índico.

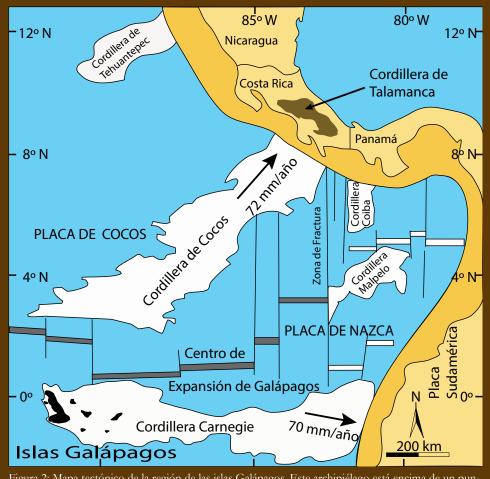


Figura 2: Mapa tectónico de la región de las islas Galápagos. Este archipiélago está encima de un punto caliente de magma a pocos kilómetros al sur del borde de la placa de Nazca con la placa de Cocos.

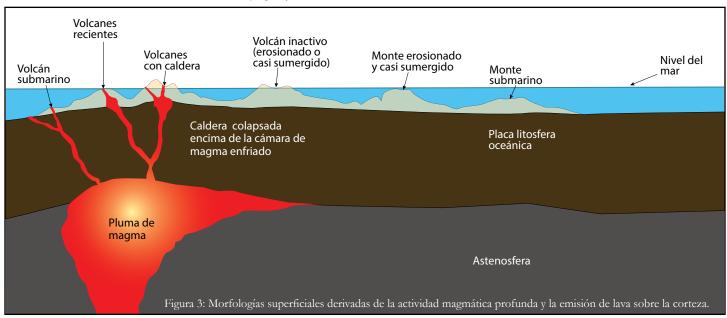
Se cree que el punto caliente tiene unos 100km de diámetro y se extiende cientos o miles de kilómetros de profundidad en el manto terrestre. A medida que se acerca a la superficie, hasta un 20% de la pluma de magma se funde debido a una disminución de la presión (no debido al calor). La fusión comienza a una profundidad de unos 100km y se detiene a unos 15km, donde alcanza la litosfera menos

densa, es decir, el subsuelo de la placa de Nazca. El magma a 1400°C encuentra su camino a través de conductos en la litosfera formando compartimientos de magma subterráneos donde las rocas graníticas se cristalizan, o entra en erupción en la superficie a temperaturas de 1100-1200°C.

Los volcanes basálticos de Galápagos y Hawái son diferentes de los volcanes continentales de lava riolítica. El basalto tiene bajo contenido en sílice, mientras que la lava riolítica es rica en sílice. Las lavas de bajo contenido en sílice son mucho menos viscosas y fluyen mucho más fácilmente que las lavas riolíticas, que además son más explosivas.

Las islas Galápagos muestran ciertas características volcánicas interesantes. Una de las más significativas es la existencia de calderas volcánicas. Una caldera es una depresión circular del cráter original. Durante una erupción, el cráter se alimenta desde el compartimiento inferior de magma. Cuando el magma se retira queda una cavidad abierta, por lo que el techo de la caldera se hunde y el suelo del cráter desciende y se ensancha su diámetro. En junio de 1968 el suelo de la caldera de la isla Fernandina cayó 200 metros debido al derrumbamiento del techo de la cámara de magma subyacente, proporcionando el mejor ejemplo documentado de tal ocurrencia. Otro ejemplo lo vemos en isla Genovesa, cuya caldera situada bajo el nivel del mar dio origen a la Bahía Darwin al romperse su borde en el lado sur. La caldera más grande es la caldera del Sierra Negra, en Isabela, que tiene 7km de ancho por 10km de largo. (Fig. 4)

Otro aspecto interesante en las islas Galápagos son los *conos parásitos*. Éstos se forman a partir de flujos de lava que surgen por fisuras distribuidas radialmente o en los lados, debido a tensiones en el volcán.





Estos conos se aprecian en la famosa imagen de la isla Santiago, concretamente el cono pequeño de salpicadura que forma la adyacente isla Bartolomé (Figura 5a). Los conos de salpicadura se forman cuando los gases disueltos liberados causan que la lava sea lanzada al aire, y ésta se solidifica parcialmente antes de llegar a tierra. Los conos de escoria o ceniza son similares, pero la lava se solidifica completamente antes de llegar a tierra. Los conos de toba se forman cerca de la orilla del mar por una erupción freático-magmática cuando el agua entra en contacto con el magma desencadenando una emisión explosiva de vapor. Las gotas de magma expulsadas subsecuentemente caen para formar la toba a partir de

A medida que la lava fluye puede formar túneles de lava de hasta varios kilómetros de largo (Fig. 5b). La superficie de la lava se enfría rápidamente y forma una costra que protege la lava que sigue

ceniza volcánica de grano extremada-

mente fino.

fluyendo debajo. Si la lava que fluye continúa saliendo puede dejar una cámara hueca. Estos túneles de lava pueden verse en las laderas más altas de la Santa Cruz y en Puerto Ayora.

Hay dos tipos de flujos de lava basáltica que tienen nombres hawaianos: pahoehoe y aa. La lava pahoehoe forma suaves contornos debido a que la lava deja de fluir en la superficie mientras la lava fundida debajo continúa fluyendo. Los flujos pahoehoe pueden verse en la bahía de Sullivan en la isla Santiago. La lava aa, aguda y áspera, tiende a formarse por flujos más rápidos sobre terrenos escarpados. A medida que la superficie se enfría, la lava subyacente sigue siendo líquida y arrastra consigo la corteza más fría haciendo que se rompa produciendo una superficie áspera. Algunos flujos de aa pueden verse en la isla Fernandina.

En las islas Galápagos se pueden ver los resultados de los diferentes tipos de lava y sus diferentes edades. La ceniza volcánica poco cementada como la toba o la piedra pómez se erosiona rápidamente formando playas suaves, mientras que los basaltos más sólidos dejan acantilados más escarpados y rugosos. Algunos flujos de lava de cien años de antigüedad en la isla Santiago todavía se mantienen estériles; mientras que lavas de hace mil años en la orilla oeste de la isla Isabela muestran una variedad de plantas.

Cada isla importante en Galápagos es un único gran volcán, con la excepción de Isabela que cuenta con seis volcanes unidos por encima del nivel del mar. El volcán Cerro Azul tuvo una gran erupción en 1979. El Sierra Negra, en Isabela, estalló en octubre de 2005 con chorros de lava de 200m de altura. En los últimos doscientos años han ocurrido sesenta erupciones con una frecuencia de cinco a diez años. Tanta actividad volcánica reciente convierte a las islas Galápagos en una de las áreas volcánicas más activas del mundo.

Figura 5a: Isla Bartolomé, donde se observa el cono parásito en la parte derecha de la fotografía. Nótese la diferencia en color de las rocas que se formaron al solidificarse la lava.



Figura 5b. Túnel de lava, isla Santa Cruz.





as islas Galápagos, también llamadas Larchipiélago de Colón, pertenecen a Ecuador y se sitúan a 972 km de la costa continental del país, en el Pacífico oriental. En siglo XVI estas islas recibieron el nombre turístico de Islas Encantadas, a causa de su extraordinaria flora y fauna. Conocer estas islas es un sueño para cualquier amante o estudioso de la naturaleza, pero para los biólogos tiene un aliciente añadido: gracias a la visita de Charles Darwin en 1835, las Galápagos se consideran un icono universal de la teoría de la evolución. Los biólogos evolucionistas afirman que las islas Galápagos constituyen un claro ejemplo de cómo la selección natural ha transformado a los seres vivos a lo largo de miles de años, creando nuevas especies adaptadas a ambientes específicos. Para los biólogos creacionistas, sin embargo, los animales y las plantas de estas islas muestran abundantes evidencias de diseño inteligente, previsión y cuidadosa preocupación por parte del Dios Creador hacia sus criaturas.

Las islas Galápagos son de origen volcánico. El archipiélago, que está formado por más de 200 islas e islotes, se originó de manera similar al archipiélago hawaiano y las islas Canarias, al desplazarse la placa tectónica de Nazca sobre un punto caliente del manto terrestre. Según la geología convencional las islas orientales (Floreana, Española y Santa Fe) son las más antiguas, con una edad estimada de 3-4 millones de años (m.a.). Las islas occidentales (Isabela y Fernandina), que aún cuentan con volcanes activos, habrían surgido del fondo marino hace menos de 1 m.a. Los geólogos creacionistas proponen un modelo tectónico similar pero en el que todo ocurrió en una época reciente, poco después del diluvio, y considerablemente más rápido, en apenas unos cientos de años (Wood 2005).

En cualquier caso, una cosa parece segura y es que los habitantes de las Galápagos no estaban allí desde el principio. Cuando las islas aparecieron eran masas amorfas de lava solidificada situadas a cientos de kilómetros del continente, a las que los primeros animales posiblemente llegaron volando, nadando o flotando. El viento pudo arrastrar algunos insectos y semillas pequeñas, otras pudieron viajar en las plumas, las patas o el estómago de los pájaros, y quizás las más resistentes llegaron flotando, arrastradas por las corrientes. De todos los organismos que llegaron, no todos lograrían sobrevivir y asentarse pero algunos lo consiguieron. Para ello tuvieron que adaptarse al peculiar ambiente de Galápagos. A pesar de estar situadas sobre el ecuador terrestre, el clima de estas islas no es tropical y lluvioso, sino más bien todo lo contrario. Las islas Galápagos están bañadas por corrientes marinas frías que no producen evaporación, por lo que apenas llueve y el agua dulce escasea. Sin embargo, cada ciertos años, se produce el fenómeno de El Niño, en el cual una corriente cálida procedente del oeste baña el archipiélago, cambiando el clima y provocando lluvias torrenciales.

Tanto los biólogos evolucionistas como los creacionistas proponen que los habitantes de Galápagos son descendientes de especies continentales, que llegaron a las islas en algún momento del pasado y consiguieron adaptarse a las duras condiciones de elevadas temperaturas y baja humedad, así como al clima impredecible. En el proceso de adaptación, algunas de sus características cambiaron dando lugar a nuevas especies, muchas de ellas endémicas, únicas en el mundo (30% de las plantas nativas, 76% de las aves terrestres, 26% de las aves marinas y 60% de los reptiles) (Kricher 2006). El conflicto no se sitúa en torno a si las especies cambiaron o si se produjeron nuevas especies, sino en torno al propósito de dichos cambios, su temporalidad, y sus limitaciones. En el escenario evolucionista los cambios se producen al azar y la selección natural preserva aquellos que casualmente resultan funcionar en

el nuevo ambiente. En teoría el proceso puede continuar indefinidamente dando lugar a grandes cambios por acumulación de pequeñas modificaciones, pero es muy lento, porque los cambios se producen de manera aleatoria y nunca en respuesta a las necesidades de los organismos. Por el contrario, el escenario creacionista propone que las especies pueden adaptarse porque están diseñadas con la capacidad de hacerlo. En su infinita sabiduría y previsión el Creador habría dotado a los organismos con información genética flexible y herramientas para modificar algunas de sus características en respuesta a determinadas demandas ambientales. En este caso los cambios, previamente contemplados en el genoma del organismo, podrían haberse producido en un corto periodo de tiempo, pero estarían limitados a variaciones a partir de una estructura básica, sin posibilidad de que aparecieran nuevos órganos o nuevos

planes corporales.

A continuación vamos a hacer una breve revisión de algunos de los habitantes más característicos de las islas Galápagos, resumiendo sus principales adaptaciones morfológicas y fisiológicas e incluyendo en los casos pertinentes las teorías referentes a su origen y parentesco potencial con otras especies, dentro y fuera del archipiélago. Es importante que los lectores analicen con atención las descripciones, distinguiendo entre datos (observaciones empíricas) e interpretaciones (explicaciones potenciales para los datos, que dependen en gran manera de las presuposiciones, creencias y expectativas de quien las propone). Es la intención de este artículo que los lectores puedan evaluar de forma crítica los datos y decidir por ellos mismos cual es la interpretación más plausible para las adaptaciones que observamos en los animales y plantas de las islas Galápagos.





#### Los Pinzones

Los pinzones de Darwin son, sin duda, los habitantes más famosos de las islas. Llamamos así a un grupo de 14 especies de pájaros pequeños de color oscuro (13 de ellas endémicas), que comprende 5 géneros: Geospiza, los pinzones terrestres y de cactus; Camarhynchus, los pinzones de árbol; *Platyspiza*, el pinzón vegetariano; Certhidea, el pinzón cantor; y Pinaroloxias, el pinzón de la isla de Cocos. Aunque todos ellos tienen un aspecto bastante similar, se diferencian en el tamaño, el color y los hábitos reproductivos, pero sobretodo, en la forma del pico, estrechamente asociada con la alimentación de cada especie. Por ejemplo, los pinzones terrestres se alimentan de semillas y tienen picos cortos y robustos mientras que las especies insectívoras tienen picos alargados. Las diferencias entre algunas especies son tan pequeñas que a veces resulta difícil identificar a qué especie pertenecen algunos ejemplares. Además, algunas especies se cruzan y producen descendencia híbrida (Grant 1993).

Cuenta la leyenda que la observación de los picos de los pinzones inspiró a Darwin su teoría de la evolución, pero eso no es cierto. De hecho, ni siquiera les prestó demasiada atención durante su visita a las islas. Sí que es cierto sin embargo que posteriormente los pinzones han dominado el panorama de la investigación evolutiva en Galápagos. Los investigadores Peter y Rosemary Grant han estudiado durante décadas el comportamiento, la reproducción y los cambios poblacionales a lo largo de generaciones de varias especies de pinzones. Uno de sus descubrimientos más famosos fue que tras una fuerte sequía en 1977 en la que muchos pinzones terrestres medianos murieron, los supervivientes y sus descendientes tenían el pico ligeramente más grande que el promedio anterior (Boag and Grant 1981).

Otro de sus estudios demostró que tras la colonización por parte del pinzón grande terrestre de la isla de Daphne en 1982, los pinzones terrestres medianos que anteriormente habitaban la isla redujeron el tamaño de sus picos, probablemente para reducir la competencia por el mismo tipo de semillas (Grant and Grant 2006). Lo curioso es que el cambio ocurrió en muy pocas generaciones, pudiéndose medir diferencias significativas en menos de dos décadas. Otros investigadores se han concentrado en estudiar las bases genéticas de las diferencias entre los pi-

cos de los pinzones, obteniendo resultados sorprendentes. En 2006 un grupo de investigadores de Harward descubrió que la proteína reguladora calmodulina influye en la forma del pico de los pinzones, relacionándose una mayor expresión de la proteína con picos más alargados (Abzhanov et al. 2006). Recientemente, otras investigaciones han demostrado que son varios los genes implicados en determinar la forma del pico, y que las tres dimensiones (alto, ancho y largo) pueden regularse de forma independiente (Lamichhaney et al. 2015; Lamichhaney

et al. 2016). Los medios de comunicación han afirmado que estos estudios nos muestran "la evolución en acción" pero ¿es esa afirmación rigurosa? ¿Sugieren estos descubrimientos una evolución no intencionada, resultado de mutaciones al azar y selección natural? ¿O parece más bien que la forma del pico de los pinzones depende de un sofisticado sistema de regulación, fruto de un diseño elegante y una planificación cuidadosa?

#### Los Cucuves

Los cucuves, o sinsontes, son pájaros insectívoros de unos 25 cm de longitud, con el dorso pardo, el vientre blanco, la cola larga, y el pico recto, largo y delgado. En Galápagos habitan cuatro especies de cucuves, del género Mimus, todas ellas endémicas. Aunque mucho menos conocidos que los pinzones, los cucuves son en realidad los pájaros que llamaron la atención de Darwin en su visita a las islas en 1835. Darwin observó que las distintas especies ocupaban diferentes islas y que todas ellas eran muy similares entre sí y a una especie de cucuve que había observado en Chile (Darwin 1989). Estas observaciones llevaron a Darwin a la conclusión de que, probablemente, todas las especies insulares eran en realidad descendientes de una especie del continente que había llegado a las islas en el pasado, diversificándose posteriormente.



#### Las Tortugas Gigantes

Las tortugas gigantes de Galápagos, Chelonoidis nigra, son las tortugas terrestres más grandes del mundo. Estos gigantes vegetarianos pueden llegar a medir un metro y medio de largo y pesar más de 400 kilos. Otra característica peculiar es su longevidad extraordinaria, que en cautividad puede llegar a más de 170 años. Las tortugas gigantes habitan varias de las islas y existen diferencias morfológicas sustanciales entre los individuos de las diferentes islas así como entre las poblaciones de las distintas áreas de Isabela, la isla más grande. En el pasado las diferencias se consideraron suficientes como para clasificar a las tortugas gigantes de Galápagos en hasta 15 especies distintas pero en la actualidad la mayoría de los taxónomos las consideran subespecies de una única especie. Una de las razones que dificulta la clasificación es el hecho de que, aunque la mayoría de las variedades pueden cruzarse entre sí dando lugar a descendencia fértil, el éxito reproductivo

disminuye cuando se aparean dos individuos procedentes de distintas poblaciones. Una de las diferencias morfológicas más notables es la forma del caparazón, que puede ser redondeado (en domo), o presentar una quilla en la parte delantera que le da aspecto de silla de montar. Las tortugas de caparazón en silla de montar son más pequeñas que las de caparazón en domo pero tienen el cuello y las patas delanteras más largos, lo que le da a la cabeza un mayor alcance vertical. Como las tortugas en silla de montar se encuentran principalmente en zonas áridas mientras que las tortugas en domo viven en zonas húmedas, se ha sugerido que la forma del caparazón de las primeras sería una adaptación para alcanzar más fácilmente las pencas de los cactus de los que se alimentan. Otra posibilidad es que las tortugas en silla de montar hayan desarrollado un caparazón más alto, junto con unas patas y cuello largos para competir con tortugas de mayor tamaño en las

interacciones antagónicas, ya que en esta especie de tortugas el vencedor de un conflicto es aquel que consigue levantar más alto la cabeza (Fritts 1983)

El origen de las tortugas gigantes de Galápagos es dudoso. Comparaciones de ADN sugieren que su pariente vivo más cercano es la tortuga terrestre chaqueña, una tortuga de unos 40 cm que se encuentra actualmente en Paraguay y Argentina (Caccone et al. 1999). Es difícil saber si fue una tortuga pequeña de este tipo la que llegó a las Galápagos y allí creció hasta el tamaño actual, o si las primeras tortugas que llegaron al archipiélago ya eran gigantes. La segunda opción parece más plausible ya que las tortugas de mayor tamaño tendrían más probabilidades de sobrevivir al largo viaje por mar. Además, se han encontrado tortugas gigantes fósiles en Sudamérica (Scheyer and Sánchez-Villagra 2007), lo que confirma esa posibilidad.





#### Las Iguanas

Las iguanas se encuentran entre los habitantes más característicos de las islas. Existen 3 especies de iguanas terrestres pertenecientes al género endémico Conolophus, y la iguana marina, Amblirhynchus cristatus, famosa por ser el único lagarto marino viviente del mundo. Las principales características de las iguanas marinas son adaptaciones relacionadas con su estilo de vida: tienen la piel oscura, casi negra, lo que les permite calentarse rápidamente al sol después de nadar en las aguas frías que bañan las islas; tienen garras largas y curvadas para agarrarse firmemente a las rocas soportando en embate de las olas, un morro corto que puede agarrar más cantidad de algas en cada bocado, y una cola aplanada lateralmente para propulsarse en el agua. A pesar de las diferencias morfológicas

evidentes entre las iguanas terrestres y marinas de Galápagos, el consenso científico general es que ambos géneros proceden de un ancestro común que habría llegado a las islas desde Sudamérica flotando sobre troncos u otros restos de vegetación. Esta idea se ve apoyada por el hecho de que las iguanas marinas y terrestres pueden cruzarse, produciendo descendencia híbrida (Rassmann et al. 1997).

Una característica llamativa de las iguanas marinas es su capacidad para excretar sal a través de la nariz, gracias a unos órganos especiales llamados glándulas de la sal. Estas glándulas resultan muy útiles para deshacerse del exceso de sal que contiene una alimentación basada en algas marinas pero ¿de dónde salieron? Si las iguanas marinas proceden

de iguanas continentales terrestres que se adaptaron a la vida marina, ¿no prueban las glándulas de la sal que la evolución puede crear órganos nuevos? En realidad, no. Las glándulas de la sal se encuentran presentes también en las iguanas terrestres y en otros lagartos herbívoros, que las utilizan para excretar el exceso de potasio que caracteriza las dietas basadas en vegetales. Estas glándulas son muy versátiles y pueden excretar diferentes tipos de sales dependiendo de la alimentación del animal (Hazard 2004). Así pues, las glándulas de la sal de las iguanas marinas no constituyen un ejemplo de novedad evolutiva sino una especialización en un órgano que previamente ya poseía la capacidad de cambiar de función.



#### Los Cormoranes No Voladores

Los cormoranes no voladores de Galápagos, Phalacrocorax harrisi, son los cormoranes más grandes del mundo, y los únicos que no vuelan. La presencia de un par de alas pequeñas y desaliñadas sugiere que estas aves proceden de un antepasado volador que en algún momento perdió la capacidad de volar, quizás a causa de una mutación genética. Las mutaciones son cambios al azar en el ADN, un sistema altamente complejo e integrado, por lo que no resulta extraño que una mutación pueda causar pérdida de función en un órgano. Lo extraño es que un ave que ha perdido la capacidad de volar sobreviva y prospere, ya que lo habitual sería que la selección natural acabase rápidamente con ella. En la mayoría de las aves, el vuelo es imprescindible para buscar alimento, para alcanzar lugares inaccesibles donde anidar y para migrar en busca de condiciones favorables, pero no así en el caso del cormorán de Galápagos. Las poblaciones de cormoranes no voladores se encuentran restringidas a la isla de Fernandina y al norte y oeste de Isabela, cuyas aguas frías garantizan abundante alimento cerca de la costa. Los cormoranes usan sus patas palmeadas para bucear hasta 30 metros de profundidad en busca de peces y otros animales marinos, pero no suelen alejarse más de unos pocos cientos de metros de la costa, por lo que no necesitan volar para alimentarse. Con respecto a la reproducción, construyen sus nidos en el suelo, lo que en otros lugares del mundo podría resultar peligroso, pero no en Galápagos, ya que las islas carecen de depredadores que puedan atacar a los huevos, a los polluelos, o a las adultos mientras están incubando. Parece que en las peculiares condiciones de estas islas el vuelo no es necesario para sobrevivir. Al contrario, se ha sugerido que la incapacidad para volar podría incluso aportar ventajas. El vuelo es una actividad energéticamente muy costosa para los cormoranes voladores y la mayoría de las aves, por los que los

cormoranes de Galápagos tienen más energía disponible que pueden dedicar a otras actividades. Además, su tamaño no está limitado por el vuelo, por lo que han podido crecer más, lo que les permite capturar presas mayores y reducir la competencia por el alimento con los pingüinos de Galápagos, que viven en las mismas áreas y se alimentan de presas más pequeñas. Por último, el hecho de no volar evita que los cormoranes sean víctimas del robo de alimentos por parte de otra ave marina, la fragata, cuyo comportamiento explicamos a continuación.







Las islas Galápagos son hábitat de numerosas aves marinas, que anidan en grandes cantidades en algunas islas e islotes. A diferencia de otros animales que son endémicos de estas islas, muchas aves marinas como los piqueros de patas azules y las fragatas se encuentran también en otros lugares costeros, lo cual tiene sentido porque son animales que pueden moverse con facilidad y viajar grandes distancias. Una diferencia impor-

#### Las Aves Marinas

tante entre las poblaciones de aves marinas de Galápagos y las de otros lugares es su docilidad. A causa de la ausencia de depredadores estas aves no suelen tener miedo del ser humano, lo que permite que se las pueda observar de cerca incluso cuando están anidando ya que construyen sus nidos en el suelo o en arbustos bajos.

Una de las aves marinas más características es la fragata, un elegante pájaro negro con una envergadura de más de un metro, capaz de realizar las más increíbles maniobras aéreas. Existen dos especies de fragatas en Galápagos, la fragata real o magnífica (Fregata magnificens) y la fragata común (Fregata minor). Las fragatas son conocidas por su cleptoparasitismo, utilizan su velocidad y su capacidad de maniobrar en el aire para robar comida a otras aves en vuelo. En Galápagos sus víctimas preferidas son los piqueros y las gaviotas, excepto la gaviota de cola bifurcada (Creagrus furcatus) que es completamente nocturna y escapa así del ataque de las fragatas, que vuelan de día.

#### Los Leones Marinos

Existen dos especies de leones marinos (o lobos marinos) en las islas Galápagos, ambas endémicas. Los lobos peleteros de Galápagos (Arctocephalus galapagoensis) se encuentran principalmente en las costas occidentales de las islas Isabela y Fernandina, por lo que son más difíciles de ver, pero los leones marinos de Galápagos (Zalophus wollebaeki) son muy abundantes. Una de las características más llamativas de estos leones marinos es que no temen al ser humano por lo que se les puede observar cerca de las personas no sólo en las zonas costeras

del parque natural sino también en los asentamientos urbanos, tumbados en los bancos del paseo de la playa, subidos en los muelles o incluso en las pequeñas embarcaciones de recreo de los numerosos puertos.

El león marino de Galápagos es morfológicamente similar al león marino de California (*Zalophus californianus*), por lo que anteriormente se lo clasificaba como una subespecie del mismo (Wolf et al. 2007). Según los científicos, los leones marinos de Galápagos provienen de un grupo de leones marinos de California que llegó hasta las islas en algún momento del pasado cuando las aguas del Pacífico eran más frías (On 1966). Los leones marinos necesitan aguas frías y pudieron sobrevivir en las Galápagos gracias a las corrientes frías que bañan las islas. Con el tiempo disminuyeron de tamaño, se les modificó ligeramente la forma del cráneo, y a causa del aislamiento reproductivo se convirtieron en una nueva especie que actualmente tiene dos variantes distintas, una en la zona occidental, más productiva, y otra en las islas orientales (Wolf et al. 2008).





#### La Scalesia

Uno de los grupos de plantas más conocidos de Galápagos son las scalesias. Se trata de 15 especies de la familia de las Asteráceas pertenecientes al género *Scalesia*, endémico de Galápagos. Las scalesias son en el reino vegetal el equivalente a los pinzones de Darwin en el reino animal, un claro ejemplo de lo que los científicos llaman radiación adaptativa: un grupo de especies estrechamente relacionadas procedentes de un ancestro común, que se han diversificado para adaptarse a diferentes ambientes. La mayoría de las especies de *Scalesia* son arbustos pero tres de ellas alcanzan tamaño arbóreo. La más conocida, *Scalesia pedunculata*, forma frondosos boques en las zonas húmedas de las islas más grandes. Algunas de las características especiales de estos bosques es que están formados por una cohorte de individuos de la misma edad, que crecen muy rápido

(hasta cinco metros el primer año), y que suelen morir simultáneamente cuando se producen condiciones ambientales desfavorables (Itow 1995). La razón de que los bosques de *Scalesia* no se regeneren poco a poco sino de golpe después del colapso de toda un área de bosque, es que estas plantas son heliófilas y no crecen a la sombra.

#### Los Cactus

Debido al clima árido que domina gran parte de las islas, los cactus son abundantes en Galápagos. Los cactus son plantas suculentas, con espinas (equivalentes a las hojas) y tallos verdes carnosos que hacen la fotosíntesis y retienen agua. En las Galápagos hay tres tipos de cactus. Los cactus de lava pertenecen al género endémico *Brachycereus* y, tal como su nombre indica, son una de las primeras plantas en crecer en la lava solidificada. Los cactus candelabro, del género también endémico *Jasminocereus*, tienen ramas cilíndricas, flores y frutos color rojo brillante, y pueden alcanzar 7 u 8 metros

de altura. Pero los cactus más famosos de Galápagos son las opuntias. Aunque el género (*Opuntia*) se encuentra en otros lugares, todas las especies de opuntias de estas islas son endémicas. Las opuntias de Galápagos constituyen otro ejemplo de radiación adaptativa, ya que se encuentran numerosas especies en las islas, todas supuestamente derivadas de un ancestro común. Una de las características más llamativas de algunas opuntias es su estructura arbórea. Estos cactus, que pueden alcanzar 10 metros de altura, tienen una base de aspecto muy similar a un tronco de árbol, y las pencas no empiezan

a ramificarse hasta 1-1.5 metros del suelo. Algunos científicos han propuesto que se trata de una adaptación para protegerse de los reptiles herbívoros, las tortugas gigantes y las iguanas terrestres, pero otros opinan que sirve para competir por la luz solar con otras plantas. La existencia de opuntias arbóreas fuera de Galápagos sugiere que este tipo de cactus tiene cierta flexibilidad con respecto a su morfología, lo que les permite adaptarse a diferentes ambientes. Para los biólogos creacionistas, dicha flexibilidad es una evidencia de diseño y previsión (Wood 2005).

Después de revisar las principales características de algunas de las especies emblemáticas de las islas Galápagos es fácil darse cuenta de un patrón que se repite una y otra vez: especies endémicas similares a especies continentales, pero perfectamente adaptadas a las condiciones ambientales específicas de estas islas. Para muchos, ese patrón refleja la evolución propuesta por Charles Darwin actuando en todo su esplendor pero ¿es eso realmente lo que sugieren los datos? Según los numerosos ejemplos que hemos comentado los habitantes de Galápagos muestran cambios adaptativos limitados, variaciones dentro de una estructura básica: los famosos pinzones, con su variedad de picos, siguen siendo pinzones; las iguanas se diferencian en el color, la forma de las garras, el morro y la cola pero, indiscutiblemente, siguen siendo iguanas; y las tortugas, a pesar de tener distintos tipos de caparazón y cuellos más o menos largos, siguen siendo tortugas... Excepto quizás en el caso de los cormoranes, las variaciones no parecen debidas a mutaciones al azar. Al contrario, algunas características como la forma del

pico de los pinzones poseen una sofisticada regulación genética. Por último, algunos animales, como las iguanas, y algunas plantas, como los cactus, parece que estuvieran "pre-adaptados" para llegar a estas áridas islas, adaptarse y prosperar. ¿Cuál es la conclusión lógica de todas estas observaciones? ¿Una evolución no quiada capaz de crear nuevas especies de manera ilimitada a partir de cambios aleatorios y selección natural? ¿O un Creador inteligente que puso en sus criaturas la flexibilidad necesaria para adaptarse y sobrevivir en diferentes condiciones?

#### **Referencias:**

Abzhanov, A., Kuo, W. P., Hartmann, C., Grant, B. R., Grant, P. R., and Tabin, C. J. (2006). The calmodulin pathway and evolution of elongated beak morphology in Darwin's finches. Nature 442, 563-567.

Boag, P. T. and Grant, P. R. (1981). Intense natural selection in a population of Darwin's finches (Geospizinae) in the Galapagos. Science 214, 82-85.

Caccone, A., Gibbs, J. P., Ketmaier, V., Suatoni, E., and Powell, J. R. (1999). Origin and evolutionary relationships of giant Galápagos tortoises. Proceedings of the National Academy of Sciences 96, 13223-13228.

Darwin, C. (1989). The voyage of the Beagle. 1839. Darwin: The Indelible Stamp.

Fritts, T. H. (1983). Morphometrics of Galápagos tortoises: evolutionary implications. *Patterns of* Evolution in Galápagos Organisms, 107-122.

Grant, P. R. (1993). Hybridization of Darwin's finches on Isla Daphne Major, Galapagos. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences 340, 127-139.

Grant, P. R. and Grant, B. R. (2006). Evolution of character displacement in Darwin's finches. Science 313, 224-226.

Hazard, L. C. (2004). Sodium and potassium secretion by Iguana salt glands. In Iguanas: Biology and Conservation' pp. 84. (Univ. of Chicago Press Chicago.)

Itow, S. (1995). Phytogeography and ecology of Scalesia (Compositae) endemic to the Galápagos Islands. Pacific science: a quarterly devoted to the biological and physical sciences of the Pacific Region 49, 17-30.

Kricher, J. C. (2006) 'Galapagos: A natural history.' (Princeton University Press.)

Lamichhaney, S., Berglund, J., Almén, M. S., Magbool, K., Grabherr, M., Martinez-Barrio, A., Promerová, M., Rubin, C.-J., Wang, C., and Zamani, N. (2015). Evolution of Darwin/'s finches and their beaks revealed by genome sequencing. Nature 518, 371-375.

Lamichhaney, S., Han, F., Berglund, J., Wang, C., Sällman Almen, M., T Webster, M., Grant, B. R., Grant, P. R., and Andersson, L. (2016). A beak size locus in Darwin's finches facilitated character displacement during a drought. Science 352, 470-474. doi: 10.1126/science.aad8786.

On, R. T. Evolutionary aspects of the mammalian fauna of the Galápagos. 1966 p. 276. (Univ of

Rassmann, K., Trillmich, F., and Tautz, D. (1997). Hybridization between the Galápagos land and marine iguana (Canolophus subcristatus and Amblyrhynchus cristatus) on Plaza Sur. Journal of Zoology 242, 729-739.

Scheyer, T. M. and Sánchez-Villagra, M. R. (2007). Carapace bone histology in the giant pleurodiran turtle Stupendemys geographicus: phylogeny and function. Acta Palaeontologica Polonica 52. Wolf, J. B., Harrod, C., Brunner, S., Salazar, S., Trillmich, F., and Tautz, D. (2008). Tracing early stages of species differentiation: ecological, morphological and genetic divergence of Galápagos sea lion populations. BMC Evolutionary Biology 8, 1.

Wolf, J. B., Tautz, D., and Trillmich, F. (2007). Galápagos and Californian sea lions are separate species: genetic analysis of the genus Zalophus and its implications for conservation management. Front Zool 4, 20.

Wood, T. C. (2005). A creationist review and preliminary analysis of the history, geology, climate, and biology of the Galápagos Islands. Origins 45, 22.



charles Darwin era joven cuando visitó las islas Galápagos y registró en su diario pensamientos de alguien que no parecía feliz de estar allí. De hecho, el 16 de septiembre de 1835, comparó la primera de las islas Galápagos en las que puso el pie—San Cristóbal—con el infierno:

El país se compara con lo que podríamos imaginar que son las partes cultivadas de las regiones infernales.<sup>1</sup>

Su diario se vuelve algo más alegre durante su corta estancia en las islas Galápagos y la preocupación de Darwin parecer estar relacionada con qué animales eran comestibles. Menciona a las tortugas unas pocas veces, comentando sobre su tamaño y comportamiento; sin embargo, en su comentario final regresa al asunto de su carácter comestible:

Con las tortugas jóvenes se hace una sopa estupenda; por lo demás la carne es solamente—a mi gusto—un alimento insulso.<sup>2</sup>

Las tortugas jugaron un papel importante en el pensamiento de Darwin acerca de la evolución, pero los pinzones han resultado, en tiempos modernos, mucho más prominentes como evidencias de la evolución. Debido a esto, podría parecer sorprendente descubrir que, habiendo estado en las islas Galápagos, Darwin mencione a los pinzones en su diario solamente una vez. De hecho, sólo aparecen en una nota insignificante apuntada el 1 de octubre de 1835, donde comenta que los pinzones, junto con otras aves, bebían agua en cierta ubicación. ¡Ni siquiera comenta sobre el sabor que podrían tener esas aves!

Teniendo en cuenta la prominencia moderna de los pinzones de las Galápagos, ahora comúnmente llamados pinzones de Darwin, es aún más sorprendente que no se les mencione en *El Origen de las Especies*, aunque Darwin hace repetidas referencias generales a la fauna de las Galápagos. Un importante ejemplo es esta afirmación:

Los habitantes de las islas Cabo Verde están relacionados con los de África, de la misma manera que los de las Galápagos con los de América. Hechos como éstos, no admiten ningún tipo de explicación basada en la opinión en boga sobre una

creación independiente; mientras que desde la perspectiva defendida aquí es obvio que las islas Galápagos probablemente recogerían colonizadores de América, ya fuera por medios ocasionales de transporte o (aunque no soy partidario de esta doctrina) a través de un puente de tierra que pudo haberlas unido anteriormente al continente, y las islas Cabo Verde de África; tales colonizadores estarían sujetos a modificación—el principio de la herencia que revela todavía su lugar de nacimiento original.<sup>3</sup>

Para averiguar qué pensaba Darwin sobre los pinzones de las islas Galápagos, es necesario remontarse a su primer libro, *El Viaje del Beagle*, pero no la primera edición publicada en 1839, sino la posterior edición de 1845:

sus picos, sus colas cortas, la forma del cuerpo, y el plumaje: hay trece especies, que el Sr. Gould ha dividido en cuatro subgrupos. Todas estas especies son características de este archipiélago... El hecho más curioso es la perfecta aradación en el tamaño de los picos en las diferentes especies de Geospiza [pinzones de Darwin], que varían desde uno tan grande como el de un picogordo (Coccothraustes coccothraustes) al de un pinzón vulgar (Fringilla coelebs)... Hay no menos de seis especies con picos clasificados inconsistentemente... Al considerar esta gradación y la diversidad de estructuras en un grupo pequeño e íntimamente emparentado de aves, podría creerse que, en virtud de una pobreza original de pájaros en el archipiélago, se había modificado una sola especie para *llegar a fines diferentes.*⁴

Darwin creía que los pinzones en las islas Galápagos respaldaban su teoría de que las especies podían cambiar, adaptándose a condiciones locales. En esto, la mayoría estaría de acuerdo con él, entonces ¿por qué los pinzones reciben tanto interés? Darwin los usó para enfrentarse a una perspectiva platónica, en la que las especies son inalterables, y también a ciertos creacionistas que creían en algo similar,

aunque la Biblia apunta en una dirección muy diferente. La creación, tal como vino de la mano del Creador, era "buena en gran manera" (Génesis 1:31), pero después del pecado hubo cambios dramáticos, cuando se introdujeron la muerte y el sufrimiento (Romanos 5:12). Cuando Dios maldijo (Génesis 3:14-19) les aseguró a Adán y a Eva que habría grandes cambios en la creación y, aún cuando nuestro mundo es maravilloso, los cristianos creyentes en la Biblia creen que nuestro mundo es muy diferente del que fue creado originalmente.

Lo especial acerca de los pinzones de Darwin no es sólo que demuestren que pueden ocurrir cambios menores. Los cambios que presentan frente a especies encontradas en América del Sur concuerdan bien con la idea de que son resultado de la selección natural. Algunos pueden considerar esto interesante porque la selección natural fue la gran contribución de Darwin a la ciencia, pero están equivocados. La selección natural es una idea con una historia muy larga, y había sido exhaustiva y claramente presentada antes de Darwin por James Hutton, entre otros.<sup>5</sup>

Donde Hutton difiere de Darwin es en que él creía que las especies pueden adaptarse a las condiciones locales para explotar nichos disponibles, pero que esta variación ocurre dentro de ciertos límites. Los pinzones de Darwin han sido presentados como evidencias de la hipótesis de Darwin de que no hay límites para la variación. A decir verdad, esta es la razón por la que los llaman "pinzones de Darwin", aunque este nombre fue adoptado mucho después de la muerte de Darwin.

¿Demuestran claramente los pinzones de Darwin que la teoría de la evolución de Darwin es cierta, que la selección natural actúa durante inmensos períodos de tiempo para transformar un tipo de organismo en otra clase? Para saber si lo hacen o no es necesario tener un conocimiento básico de estos pinzones. Como grupo, son en general pequeñas aves marrones con machos que tienden a tener un color más oscuro que las hembras. Las diferencias visibles más sorprendentes entre ellos derivan de su tamaño y de la forma y el tamaño de sus picos.

Darwin originalmente no reconoció un número importante de especies entre los pinzones que coleccionó. Las 12 ó 13 especies identificadas por John Gould entre los especímenes que Darwin recogió en las islas y otras muestras, en general se consideran acertadas, aunque se han hecho algunas revisiones y hoy se cree que son 15 especies. Estas se conocen por nombres como pinzones de tierra grandes, medianos y pequeños, pinzones de cactus grandes, medianos y pequeños, pinzón vegetariano, etcétera. Cada uno explota recursos diferentes en las islas Galápagos, y todos parecen bien adaptados a su nicho específico.

Aunque el tamaño se reconoce comúnmente como un rasgo que varía extensamente entre organismos de la misma especie, los picos de los pinzones de Darwin son particulares, teniendo cada especie un pico que se correlaciona con su dieta. Los pinzones de tierra grandes tienen un pico grande, muy adecuado para comer semillas grandes y duras. El pinzón vampiro usa su largo pico afilado para comer pequeñas semillas, huevos de otras aves e invertebrados, pero también para picar a aves más grandes y beber su sangre.

La investigación mejor conocida sobre los picos de los pinzones de Darwin probablemente sea la llevada a cabo por Peter y Rosemary Grant quienes estudiaron durante varias décadas a los pinzones de tierra medianos en Daphne Mayor, un islote de 40 hectáreas en el archipiélago de las Galápagos. Su investigación ha sido popularizada en libros<sup>6</sup> e incluida en los libros de texto de las escuelas secundarias, preuniversitarias, y universitarias.

Posiblemente la observación más significativa realizada por los Grant fue un pequeño aumento en el tamaño promedio del pico y del cuerpo entre los pocos sobrevivientes de las sequías de 1977 y 1982.<sup>7</sup> Ellos interpretaron estas observaciones como evidencia de selección natural en acción porque los pinzones de tierra medianos con picos más grandes podían romper y abrir semillas más grandes, las únicas disponibles como alimento cuando la sequía perduró. Haciendo una

extrapolación de estos eventos, Peter Grant sugirió que, bajo una selección similar, podría llegar a producirse rápidamente una nueva especie, requiriendo solamente doscientos años para producir un pinzón de tierra grande, o 1200 años para producir un pinzón de cactus.<sup>8</sup>

Las extrapolaciones hechas por Peter Grant deben ser tomadas con precaución, como es siempre el caso con las extrapolaciones. En realidad, el tamaño del pico y del cuerpo regresó rápidamente a sus dimensiones más pequeñas con el regreso de la lluvia y de la vegetación productora de semillas más pequeñas. Pero aún hoy, habitualmente se interpretan estos resultados como evidencias que respaldan la idea de que las diferentes especies de pinzones de las Galápagos se desarrollaron durante el curso de uno a cinco millones de años. Dadas las evidencias, uno tiene que preguntarse por qué habrían demorado tanto tiempo.

Desde la investigación de los Grant se han hecho otros estudios fascinantes sobre los pinzones de Darwin. Dos de éstos han revelado que, durante el desarrollo embrionario, se produce una proteína de señalización llamada proteína morfogénica ósea 4 (BMP4) que tiene una influencia importante sobre la morfología del pico de las aves,9 y específicamente en los picos de los pinzones de Darwin.10 Un artículo más reciente de Lamichhaney et al., reporta acerca de las secuencias genómicas completas de las 15 especies actualmente reconocidas. Su investigación destaca algunas regiones adicionales del genoma del pinzón que están relacionadas con diferentes formas del pico.<sup>11</sup>

Probablemente la revelación más interesante aportada por Lamichhaney et al., es que muchas de las especies tienen cierto grado de cruzamiento con otras especies, y que los pinzones de tierra de pico afilado recolectados en diferentes islas debieran ser clasificados como tres especies diferentes. Este artículo aporta abundancia de datos, pero indudablemente complica la imagen de una evolución lineal simple de las diferentes especies. También deja claro que lo que hoy se llama especies no son necesariamente lo

que la mayoría de las personas consideraría que son.

¿Desde qué perspectiva un creyente en la Biblia podría mirar a los pinzones de Darwin? Está claro que el tipo de especiación observada en los pinzones de Darwin puede ser un fenómeno rápido. Está también claro que cuando se discute acerca de las especies, es esencial comprender cual es el significado atribuido al concepto "especie". El extremo superior del tiempo que se atribuye a la evolución de las diferentes "especies" de pinzones de Darwin, cinco millones de años, no es tan diferente de la cantidad de tiempo en que se afirma que seres humanos y chimpancés compartían un antepasado común. Las poblaciones de pinzones en las islas Galápagos son relativamente pequeñas, probablemente en el orden de decenas de miles, pero su reproducción es relativamente rápida en comparación con los humanos y se cree que la selección fue intensa. Parece raro creer que en el espacio de tiempo en que los pinzones evolucionaron formas de pico y tamaños de cuerpo diferentes, los seres humanos y chimpancés, de lenta reproducción, atravesaron la multitud de cambios morfológicos y genéticos que observamos hoy.

En otro nivel, el mecanismo de expresión diferencial de proteínas que afectan el desarrollo (y, por lo tanto, la morfología), que se cree fue el sujeto de selección en las diferentes especies de los pinzones de Darwin, ilustra por qué esta clase de adaptación a nuevos nichos y a un entorno cambiante puede ser rápida. A decir verdad, los pinzones de Darwin pueden muy bien ser una ilustración excelente de la clase de radiación adaptativa rápida que muchos científicos creyentes en la Biblia suponen que ocurrió después del diluvio de Génesis. Cuando los organismos, creados con la capacidad de adaptarse a condiciones cambiantes se liberaron en una tierra postdiluvial extremadamente cambiada, debieron ocurrir cambios rápidos para explotar los nichos recién disponibles.

Éstas adaptaciones debieron involucrar cambios en la expresión de los genes, pero no necesariamente evolución de nuevos genes. Gracias a la investigación de los Grant y de otros sobre los pinzones de Darwin, tenemos ahora un ejemplo excelente proveniente de las islas Galápagos que ilustra que esta idea es razonable. Al mismo tiempo, el hecho de que los pinzones sigan siendo pinzones, siendo muchos de ellos producto de hibridación, demuestra la misma clase de límites para la selección natural que científicos como James Hutton creían que existían.

#### **Referencias:**

<sup>1</sup>Darwin, C. 1835. 16 de septiembre, en Keynes, R. D. ed. 2001. Charles Darwin's Beagle diary. Cambridge: Cambridge University Press. p 352.

<sup>2</sup>lbid. p 362.

<sup>3</sup>Darwin CR. 1876. The origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life, 6a Ed., con adiciones y correcciones. John Murray, London. p 354.

<sup>4</sup>Darwin, C. R. 1845. Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world, under the Command of Capt. Fitz Roy, R.N. 2a edición. John Murray, London. p 379-380.

<sup>5</sup>Véase: Paul N. Pearson, PN. 2003. In retrospect. *Nature* 425:665 (16 de octubre de 2003). doi:10.1038/425665a

<sup>6</sup>Por ejemplo: Weiner J. 1994. The Beak of the Finch: A story of evolution in our time. Alfred A. Knopf, New York.

<sup>7</sup>Estoy en deuda con la excelente revisión general sobre los pinzones de Darwin, de Jonathan Wells en: Wells J. 2,000. Darwin's finches. Capítulo 8 en Icons of Evolution: Science

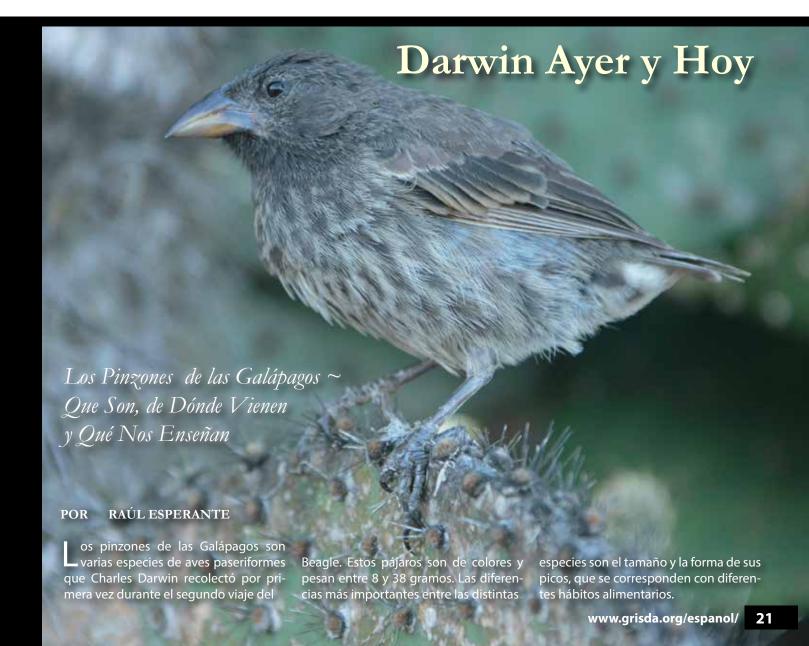
or myth? Why much of what we teach about evolution is wrong. Regenery Publishing Inc., Washington, DC. p 159-175.

<sup>8</sup>Grant P. 1991. Natural selection and Darwin's finches. *Scientific American* (Octubre de 1991). P 82-87.

<sup>9</sup>Ping W, Jiang T-X, Suksaweang S, Widelitz RB, Chuong C-M. 2004. Molecular shaping of the beak. *Science* 305:1465-1466.

<sup>10</sup>Abzhanov A, Protas M, Grant BR, Grand PR, Tabin CJ. 2004. Bmp4 and Morphological variation of beaks in Darwin's finches. *Science* 305:1462-1465.

"Lamichhaney S, Berglund J, Almen MS, Maqbool K, Grabherr M, Martinez-Barrio A, Promerová M, Rubin C-J, Wang C, Zamani N, Grant BR, Grant PR, Webster MT, Andersson L. 2015. Evolution of Darwin's finches and their beaks revealed by genome sequencing. *Nature* (19 de febrero), 519:371-375. doi:10.1038/nature14181v



#### Ciencia de los Orígenes 89

La mayoría de los pinzones son aves terrestres que se posan en arbustos, árboles pequeños o directamente en el suelo, para alimentarse de frutas, hojas, ramas y semillas. Los pinzones vampiro beben la sangre de otras aves, como los piqueros, a los que pican en la base de la espalda, o rompen los huevos de estas mismas aves para alimentarse de las yemas. Los pinzones de los cactus viven en los cactus, anidan en los cactus, a menudo copulan en los cactus y se alimentan de néctar, flores y semillas de cactus. Los pinzones vegetarianos arrancan la corteza de los árboles y chupan la savia.<sup>1</sup>

Charles Darwin llegó al archipiélago de Galápagos en septiembre de 1835 y pasó un mes visitando cuatro de las islas más grandes, en las que recolectó muestras geológicas y biológicas. Darwin estaba interesado en la distribución geográfica de las especies, especialmente en la relación entre las especies de las islas oceánicas y las de los continentes cercanos. En su visita al archipiélago de las Galápagos Darwin mostró poco interés en los pinzones; en cambio, su atención se centró en la geología de las islas y en otro grupo de pájaros: los sinsontes. En San Cristóbal (Chatham), la isla más oriental del archipiélago, Darwin encontró un sinsonte similar a los que había visto anteriormente en Chile. También se percató de que todos los sinsontes de isla Floreana eran de una especie, los de isla Isabela de otra, y los de isla Santiago y las islas San Cristóbal de una tercera. Esta distribución le hizo preguntarse sobre el origen y la estabilidad de las especies. Darwin recolectó sinsontes y pinzones de las diferentes islas y los llevó de vuelta a Inglaterra, donde los presentó en una reunión de la Sociedad Geológica de Londres, junto con ejemplares de otros animales que había recogido durante su viaje. Debido a que Darwin no había etiquetado los ejemplares correctamente, le entregó las aves a John Gould, famoso ornitólogo británico, quien identificó 12 especies de pinzones (actualmente consideradas 13 especies) y varias especies de sinsontes. Gould llegó a la conclusión de que 25 de las 26 aves terrestres eran formas nuevas y distintas, exclusivas de las islas Galápagos, pero estrechamente relacionadas con las que se encuentran en el continente sudamericano.

En 1839 Darwin escribió que, "A pesar de que las especies son peculiares del archipiélago, casi todo en su estructura general, sus hábitos, el color de las plumas, e incluso el tono de voz, son estrictamente americanos".

Al comparar sus notas con las observaciones de otros miembros de la tripulación del Beagle, Darwin notó que las especies estaban a menudo confinadas en islas individuales, observación que apoyaba a su idea de la transmutación de las especies. Esta idea, fuente de debate en el siglo XIX, sugería que las especies podían cambiar ('transmutar'),

gos que la transformaron en nuevas especies.

En su conocido libro *El Origen de las Especies* Darwin expresa así su desacuerdo con la idea de que las especies de pinzones y sinsontes de las Galápagos hubieran sido creadas de forma separada:

"El hecho más llamativo e importante para nosotros en lo que respecta a los habitantes de las islas, es su afinidad con las del continente más cercano, sin ser realmente la misma especie. [En] el archipiélago de las Galápagos... casi todos los productos de la tierra y el mar llevan el sello inconfundible del continente americano. Hay veintiséis aves terrestres, y veinticinco de ellas han sido clasificadas por el Sr. Gould como especies distintas, supuestamente creadas aquí; sin embargo, la estrecha afinidad de la mayoría de estas aves con las especies americanas en todos los aspectos, en sus hábitos, gestos y tono de

los habitantes de estas islas volcánicas en medio del Pacífico, aunque situado a varios cientos de millas del continente siente sin embargo que está de pie en tierra americana. ¿Por qué debería ser así? ¿Por qué deberían las especies que se supone que se han creado en el archipiélago de Galápagos, y en ninguna otra parte, mostrar tan claramente un sello de afinidad con las especies creadas en América? No hay nada en las condiciones ambientales de las islas, en su naturaleza geológica, en la altitud

o el clima, o en las proporciones en

que las diversas clases se asocian entre

sí, que se asemeje a las condiciones de la

costa de América del Sur: de hecho existe

voz, es evidente... El naturalista que estudia

una diferencia considerable en todos estos aspectos Por otro lado, existe un considerable grado de semejanza en la naturaleza volcánica del suelo, clima, altitud y tamaño de las islas entre los archipiélagos de las Galápagos y de Cabo Verde, pero ¡qué diferencia entera y absoluta entre sus habitantes! Los habitantes de las islas de Cabo Verde están relacionados con los de África, así como los de las islas Galápagos con América. Creo que este grandioso hecho no puede explicarse de ninguna manera por medio de la teoría ordinaria de la creación independiente; mientras que según la perspectiva aquí mantenida, resulta obvio que las islas Galápagos muy probablemente recibieran colonos de América, ya sea por medio de transporte ocasional o porque la tierra fuera continua en la antigüedad; y las islas de Cabo Verde de África; y que dichos colonos serían susceptibles de modificación; -el principio de la herencia aun traicionando su lugar de nacimiento".3

convirtiéndose en otras especies por medio de procesos de hibridación y aislamiento. Darwin aplicó esta idea a sus observaciones sobre la distribución de los sinsontes de las islas Galápagos y concluyó que estos habrían surgido a partir de un único ancestro llegado desde el continente, que se habría diversificado dando lugar a múltiples especies. Dada la similitud entre todas las especies de sinsontes de las Galápagos con los sinsontes de tierra firme, Darwin no veía lógico atribuir a Dios la creación independiente de cada una de las especies en sus respectivas islas. Parecía mucho más razonable suponer que un ave ancestral había llegado de alguna manera a las islas desde el continente y desarrollado rasAsí, Darwin veía a sinsontes y pinzones como excelentes ejemplos de especiación, del surgimiento de nuevas especies a través de variación y selección natural. En 1845, en su libro *El Viaje del Beagle*, escribió,

"Al ver tal gradación y diversidad de estructura en un pequeño e íntimamente relacionado grupo de pájaros, uno podría fácilmente imaginar cómo desde la escasez original de pájaros de este archipiélago, una especie fue tomada y modificada para diferentes fines".

Estudios recientes parecieran confirmar la propuesta de Darwin. Varios científicos han observado que cuando cambian las condiciones ambientales de las islas Galápagos afectando el tipo de alimentos disponibles, se registran cambios dramáticos en la forma y el tamaño del pico en las poblaciones de pinzones. Por ejemplo, durante una grave sequía a finales de 1970, la mayoría de los pinzones murieron a causa de la falta de alimento y la población se redujo hasta el 15% de su tamaño normal. Los pinzones con picos gruesos y robustos sobrevivieron porque podían alimentarse de semillas grandes y duras, mientras que los pinzones cuyos picos eran más pequeños y delgados no podían.

El resultado fue que el tamaño y grosor medio del pico aumentaron en la población. Los científicos extrapolan esta observación y, suponiendo que el aumento de tamaño del pico y otros cambios similares son acumulativos, concluyen que la repetición de este tipo de eventos a lo largo de cientos de años podría dar lugar al origen de nuevas especies. La pregunta que nos hacemos es: ¿es correcta esta extrapolación?

El tamaño y forma del pico cambiaron en la población de pinzones porque los pájaros de menor tamaño, y pico menos robusto perecieron de hambre. Sin embargo, cuando las lluvias regresaron durante El Niño en 1982-1983, la sequía terminó y la vegetación normal de las islas, dominada por plantas que producen semillas pequeñas, creció de nuevo favoreciendo a los pinzones de picos más pequeños y delgados. Así, el tamaño medio del pico en la población de pinzones se redujo al tamaño normal previo a la sequía, sugiriendo que los cambios ambientales pueden provocar variaciones cíclicas en algunos rasgos de los organismos.<sup>5</sup>

Es posible que las variedades de pinzones y sinsontes en las Galápagos se originaran a partir de un ancestro común que vivió en el continente de América del Sur y emigró



al archipiélago. Este proceso, comúnmente llamado microevolución, se refiere a la evolución que ocurre a nivel de especie,6 cuando por medio de pequeños cambios una especie puede dar a lugar a una especie distinta, pero muy similar a la primera. Los evolucionistas afirman que la microevolución (la acumulación de pequeñas variaciones como el cambio en el tamaño del pico) podría conducir con el tiempo a la llamada macroevolución, que se refiere a cambios entre grandes grupos que implican nuevos patrones de organización y la aparición de nuevas estructuras. Aunque los pinzones y sinsontes de las Galápagos se citan frecuentemente como evidencias de evolución, la realidad es que las observaciones no han demostrado evolución lineal de una especie a otra, sólo cambios cíclicos en el tamaño medio del pico. La evidencia se ha exagerado para demostrar que la evolución tiene lugar, cuando en realidad no ha habido un cambio evolutivo neto.

La teoría de la evolución debería basarse en evidencias más sólidas que los cambios oscilatorios de algunos rasgos biológicos. Estos rasgos pueden aumentar o disminuir, siempre dentro de un determinado rango, pero no son suficientes para "transmutar" las especies como Darwin sugirió o para crear nuevos patrones de organización transformando una especie en otra completamente distinta. Tal como demuestran los pinzones de Darwin, los cambios en las condiciones ambientales pueden desencadenar variaciones adaptativas en algunos organismos que les permitan sobrevivir a dichos cambios. Si las nuevas condiciones se estabilizan y las subpoblaciones con distintas adaptaciones

se mantienen separadas, estas podrían llegar a considerarse especies distintas, pero seguirían siendo variaciones de un mismo modelo original. Así, independientemente del tamaño y la forma de sus picos, los pinzones de Darwin son y seguirán siendo pinzones.

#### Referencias:

<sup>1</sup>Weiner, J. 1995. First Vintage Books.

<sup>2</sup>Darwin, C. R. 1839. Narrative of the surveying voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the years 1826 and 1836, describing their examination of the southern shores of South America, and the Beagle's circumnavigation of the globe. Journal and remarks. 1832–1836 III. Henry Colburn, London.

<sup>3</sup>Darwin, C. R. 1859. On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. John Murray, London. P. 397-398.

<sup>4</sup>Darwin, C. R. 1845. Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. Beagle round the world, under the Command of Capt. Fitz Roy, R.N. John Murray, London. P. 380.

<sup>5</sup>Para más detalles acerca de los cambios observados en las poblaciones de pinzones de las Galápagos, consultar Jonathan Weiner, 1994, The Beak of the Finch, Vintage Books, New York; H. Leslie Gibbs and Peter R. Grant, 1987, Oscillating selection on Darwin's finches, *Nature* 327:511-513 <sup>6</sup>Algunos científicos sitúan los límites de la variación, o especiación, a nivel de especie, otros a nivel de género y otros proponen que la microevolución podría incluso dar lugar a diferentes familias en algunos organismos. La mayoría de autores está de acuerdo en que la microevolución no pude generar nuevos planes corporales, nuevas estructuras o nuevos patrones de organización.

## Biogeografía y las Islas Galápagos

POR L. JAMES GIBSON

#### Principios Biogeográficos

La Biogeografía es el estudio de las distribuciones de las plantas y los animales. Como ciencia histórica intenta, principalmente, explicar los factores históricos y ecológicos que determinan por qué las diferentes regiones del mundo están habitadas por especies diferentes.

La presencia de una especie en una región en particular se puede explicar por dos procesos. La especie podría haber colonizado la región desde algún otro lugar o podría haber surgido en la zona por especiación. En el caso de la especiación, una especie ancestral en algún momento en el pasado emigró a la zona. En cualquiera de los dos casos tuvo que ocurrir una dispersión desde un punto original común, porque todas las áreas terrestres originales fueron afectadas por el diluvio bíblico.

La biogeografía también intenta explicar por qué algunas especies están ausentes en ciertas zonas. Hay tres explicaciones potenciales para la ausencia de una especie en una región. Podría ser que esa especie nunca haya sido capaz de llegar a esa zona debido a la existencia de una o más barreras que le hayan impedido dispersarse allí. O puede haber llegado a la zona, pero no sobrevivir allí debido a la falta de condiciones adecuadas en el hábitat. Una tercera explicación podría ser que la especie alguna vez haya vivido en la zona, pero se extinguió. Tales extinciones pueden ser el resultado de factores físicos como tormentas, cambios climáticos u otras catástrofes, o podrían ser resultado de factores bióticos, como la llegada de nuevos competidores, depredadores o enfermedades.

En este trabajo resumiremos brevemente las características biogeográficas de las islas Galápagos y daremos ejemplos de especies que representan diferentes patrones y procesos biológicos.

#### Descripción Geográfica de las Galápagos

Las islas Galápagos son un grupo de islas ubicadas a lo largo del ecuador en el océano Pacífico, a aproximadamente 1000km de la costa de Ecuador. Hay trece islas principales, y más de otros 100 pequeños islotes y rocas. La distancia más larga en el eje norte sur es aproximadamente 430km y la distancia más grande en el eje este - oeste es aproximadamente 260km. Debido a las distancias que separan las islas, la dispersión resulta difícil para la mayoría de las especies, excluyendo las plantas costeras y las aves de mayor tamaño de largo alcance. En las diferentes islas las poblaciones aisladas tienden a divergir genéticamente, a veces resultando en la formación de especies diferentes en islas separadas.

La topografía de las islas es variada, aunque la elevación es principalmente reducida. La mayor elevación es 1707m en la isla de Isabela. Isabela es la más grande de las islas representando más de la mitad del área total de tierra firme de las Galápagos. Solamente otra isla, Fernandina, alcanza cotas superiores a los 1000m, con una elevación máxima de 1494m.

#### El Clima de las Galápagos

El clima de las Galápagos es seco y

cálido, pero no excesivamente caluroso. Las precipitaciones están determinadas tanto por las corrientes oceánicas como por la elevación de las islas. Las zonas bajas reciben la mayor parte de sus precipitaciones durante los meses de diciembre a mayo, cuando la corriente de Panamá trae agua cálida desde América Central. El promedio de temperatura del aire durante esta estación es de alrededor de 30-31°C. Desde aproximadamente junio hasta diciembre, la corriente de Perú trae agua más fría de Sudamérica, resultando en escasez de lluvia en las elevaciones bajas. En las zonas más altas, se suelen acumular las nubes causando una fina llovizna que puede provocar que durante la estación cálida las tierras altas reciban más precipitaciones. En general las pendientes que miran al sur reciben más lluvia que las pendientes que miran al norte. La temperatura promedio anual está alrededor

Las precipitaciones y la temperatura son los factores cruciales que determinan qué especies pueden establecer poblaciones en las Galápagos. Típicamente, las plantas se organizan en comunidades que dependen del clima. Los animales dependen de las plantas para su alimentación y, por lo tanto, la distribución de los animales depende del clima, así como por la distancia hasta sus áreas de origen y su capacidad de cruzar el agua salada. La única masa de agua dulce natural permanente en las islas es El Junco, un pequeño lago en isla San Cristóbal. La escasez de agua dulce limita los tipos de especies que pueden establecerse en las islas.



Figura 1: Zona árida en la isla Plaza. Figura 2: Vista panorámica de las zonas húmedas del volcán Sierra Negra, isla Isabela.

#### Zonas de Vegetación en las Galápagos

En el archipiélago de Galápagos se distinguen siete biomas o zonas de vegetación diferentes, que difieren según las precipitaciones. Estas zonas se extienden hasta mayor altitud en las laderas más secas que miran al norte que en las que dan hacia el sur. La zona más baja es la zona litoral, o zona de playa, con manglares (Rhizophora y otros), el 'arbusto de sal' (Cryptocarpus), la hierba alfombra (Sesuvium) y la campanilla de playa (Ipomea). Por encima de esta área se define la zona árida (o seca), que se extiende desde cerca del nivel del mar hasta aproximadamente unos 100m de altura sobre las vertientes sur y hasta aproximadamente 300m (1000 pies) o más sobre las vertientes norte. La zona árida o seca tiene un clima desértico, y está dominada por árboles de palo santo (Parkinsonia aculeata) introducidos, y varias clases de cactus (Opuntia y otros). La Estación de Investigación "Darwin" en la isla Santa Cruz se encuentra en la zona seca, y tiene una precipitación anual típica de aproximadamente 277mm.

Por encima de la zona árida está la zona de transición, que tiene la mayor diversidad de flora de entre las zonas definidas en las islas. Su elevación se extiende aproximadamente entre 100 y 200m en las pendientes meridionales y mayor en las pendientes septentrionales. Las plantas típicas de la zona de transición son pequeños arbustos y árboles, como el pega pega (Pisonia), el matazamo (Piscidia), una especie endémica de guayaba (Psidium), y el tomate de las Galápagos (Solanum). Debido a la abundancia de precipitaciones, en esta zona podemos encontrar algunos líquenes y musgos epifitos creciendo sobre los árboles. En el pueblo de Bellavista, a una altura de 194m las precipitaciones anuales son típicamente de unos 813mm.

En las islas con mayor elevación existen cuatro zonas húmedas por encima de la zona de transición. La zona scalesia se extiende desde una altitud de aproximadamente 200 - 400m. En las vertientes septentrionales puede extenderse hasta los 1000m de altura. Recibe su nombre por un raro árbol que domina esta zona, Scalesia affinis, el cual es un miembro de la familia del girasol, v crece hasta convertirse en un árbol de 18m de altura y que suele estar cubierto de plantas epifitas como líquenes, orquídeas, helechos y musgos. En las vertientes hacia el norte, la zona Scalesia puede extenderse casi hasta la zona pampa. En las vertientes hacia el sur, la siguiente zona es la zona marrón, que aparece

desde aproximadamente 450 - 550m. Recibe su nombre por el color marrón de las plantas epifitas que cubren las plantas. La planta típica es la uña de gato (Zanthoxylum fagara). La zona miconia es la siguiente zona, nuevamente en las vertientes que miran al sur. Está dominada por el arbusto Miconia, que crece hasta alcanzar aproximadamente 10m de altura. Los árboles de quinina (Cinchona), introducidos, han desplazado en algunos lugares a la Miconia. En esta zona también hay una clase endémica de algodón (Gossypium). La actividad antrópica y los animales que el hombre ha introducido han reducido enormemente la vegetación original en estas tres zonas húmedas. Las cabras se han comido muchas de las plantas, y las ratas introducidas amenazan a las poblaciones avícolas y de tortugas al comerse sus huevos.

Las elevaciones más altas, por encima de los 1000m están dominadas por helechos, juncias y pastos, en lo que se llama la zona pampa. La planta más grande aquí es el helecho arborescente de las Galápagos (Cyathea weatherbyana), que puede crecer hasta los 2,7m (9 pies) de alto. Las variaciones climáticas parecen ser demasiado extremas como para que ninguno de los árboles de las Galápagos sobreviva aquí.

### Patrones de Distribución de las Especies de las Galápagos

La capacidad de dispersión, la distancia y un hábitat apropiado, son los factores cruciales que determinan qué especies están presentes en un área. Las islas Galápagos se formaron por la actividad volcánica del fondo marino, y nunca estuvieron conectadas con continente alguno. Eso quiere decir que cada especie vegetal o animal terrestre en las islas, o su antepasado, debe haber cruzado aproximadamente unos 1000km de agua salada para llegar hasta las islas. O bien volaron o fueron transportados por el aire, o flotaron y fueron a la deriva hacia las islas.

La dispersión, la especiación y la extinción se combinan para producir tres patrones de distribución, estando cada uno de ellos representados por especies de las Galápagos. Los tres patrones de distribución son: endémico, extendido, y discontinuo.

Se reconocen como endémicas de un área aquellas especies que solamente se encuentran en la misma. La mayoría de las especies no pueden cruzar las grandes distancias oceánicas, pero algunas pueden llegar accidentalmente a las islas, debido a una tormenta o algún otro suceso extremo. Si hay pocos o ningún competidor, y suficiente espacio en el hábitat, podría ocurrir una especiación. Las especies surgidas de este modo no se encontrarán en ninguna otra parte, y son la explicación para las especies endémicas de las islas Galápagos. Muchas de las especies terrestres entran en esta categoría, y las islas Galápagos son famosas por sus especies endémicas de aves, tortugas, lagartos y plantas.

Muchas de las especies de las islas Galápagos están extendidas por todas las islas del Pacífico. Las especies que tienen distribuciones extendidas incluyen aves marinas, aves costeras, y vegetación costera. Éstas se dispersan de manera muy eficiente, y generalmente no producen especies nuevas en islas específicas. Resulta hasta cierto punto sorprendente el hecho que tres especies de aves marinas son endémicas de las islas Galápagos, junto con otras dos especies afines al agua que han perdido su capacidad de volar, un cormorán y una gallareta.

Una distribución discontinua es aquella en que una especie está presente en dos o más áreas separadas por grandes distancias, pero ausente en las áreas intermedias. Esta ausencia podría atribuirse a una extinción parcial o a la dispersión ("salto") de larga distancia. Muchas especies marinas tienen distribuciones discontinuas que incluyen a las islas Galápagos, pero éstas no se abordarán aquí. Algunas especies terrestres de las islas Galápagos tienen poblaciones en Norteamérica o Sudamérica, y se consideran discontinuas. Éstas incluyen la curruca amarilla, el flamenco estadounidense, el atrapamoscas canelo, y el murciélago canoso (estamos excluyendo las especies extendidas que se encuentran en las islas lejanas del Pacífico).

Las distribuciones discontinuas también pueden aplicarse a géneros y a taxones superiores. Dado que todas las especies de las islas Galápagos han llegado a las islas en algún momento en el pasado generalmente dejando atrás especies emparentadas, hay muchos géneros discontinuos en los que una o más especies viven en las islas Galápagos, y el resto de las especies del mismo género viven en uno o más continentes. Por ejemplo, la planta estera gris (Tiquilia nesiotica) es endémica de la zona árida de las islas Galápagos. Las otras especies en este género viven en los desiertos de Norteamérica y Sudamérica, dándoles una distribución distintivamente discontinua. Tres especies de serpientes viven en las Galápagos, mientras una cuarta especie del mismo género vive en la parte continental de Ecuador. En ambos ejemplos, una especie endémica es parte de un género discontinuo. Casi todas las especies terrestres de las Galápagos tienen sus parientes más cercanos en Sudamérica, con unas pocas en Norteamérica.

#### Dispersión Aérea Hacia las Galápagos

La dispersión aérea puede ocurrir por vuelo directo, acarreadas por otras especies, o por arrastre aéreo. Aves, murciélagos y libélulas llegaron a las islas Galápagos por vuelo directo. Muchas plantas llegaron a las islas acarreadas por otras especies, probablemente por aves, en el barro pegado a sus patas, pegadas a sus plumas, o transportadas en su tracto digestivo. Ejemplos probables serían los cactus (Opuntia y otros), la estera gris (Tiliquia), la Miconia y la uña de gato (Zanthoxylum). El viento dispersa a muchos invertebrados pequeños, como las arañas y los insectos, junto con algunas plantas como los helechos, la planta de algodón nativo (Gossypium), y Scalesia. Hay muchos insectos voladores en las islas, incluyendo ocho especies de mariposas, una de las cuales es endémica. Hay dos especies de murciélagos, pero las aves son el grupo más conspicuo entre



La garza enana de las Galápagos (*Butorides sunde-valli*) es una especie de ave pelecaniforme de la familia Ardeidae endémica de las islas Galápagos. Es un ave que habita los manglares y las rocosas costas de lava de estas islas

los que llegaron a las islas por aire.

En las islas Galápagos se conocen aproximadamente 170 especies de aves. Dos tercios de estas especies son aves acuáticas, y un tercio terrestres. Dos especies fueron introducidas por los seres humanos. Una especie es un pingüino que solamente pudo llegar a las islas nadando. Las aves acuáticas viven alrededor de los océanos y la mayoría tiene distribuciones bien extendidas, aunque un poco menos de la mitad de ellas son residentes en las Galápagos. Ocho especies de aves acuáticas son endémicas, o prácticamente, de las islas Galápagos. El tercio restante de las especies de las Galápagos son aves terrestres que deben haber volado sin detenerse toda la distancia desde otra área terrestre. Solamente cerca de treinta y una especies terrestres residen en las islas de las cuales veinte son endémicas, tres están extendidas, una es una visitante migratoria regular, y se puede considerar que las otras siete tienen distribuciones discontinuas.

Algunas especies perdieron la capacidad de volar después de llegar a las islas. Éstas incluyen el cormorán de las Galápagos y la gallareta de las Galápagos, junto con al menos dos especies de escarabajos de tierra. Una vez que una especie pierde la capacidad de volar, pierde su capacidad de dispersarse a grandes distancias y generalmente tiene una distribución muy restringida.

#### Dispersión Acuática Hacia las Galápagos

Muchas especies han llegado a las Galápagos nadando, flotando a la deriva o empujadas por la corriente, sobre troncos u otros materiales. Aparte de los murciélagos, hay solamente una especie de mamífero terrestre, un tipo de rata que con toda probabilidad fue introducida de manera accidental por seres humanos viajando en barco. El pingüino (un ave), la foca peluda de las Galápagos y el lobo marino de las Galápagos deben haber nadado hasta las islas, al igual que la tortuga marina verde. En las islas viven muchos insectos terrestres, y algunos de éstos deben haber llegado a las islas siendo empujados por la corriente sobre troncos o siendo acarreados por otras especies. Esto también debe haber sido el caso para las iguanas, los lagartos de la lava y las serpientes. La tortuga gigante de las Galápagos pudo haber flotado desde Sudamérica hasta las islas.

Algunas plantas, especialmente aquellas que viven a lo largo de las playas, se dispersaron a las Galápagos flotando y empujadas por las corrientes. Los manglares y las campanillas de playa se dispersan gracias a sus semillas arrastradas por las corrientes oceánicas. Algunas semillas vegetales pueden haber llegado a las islas flotando sobre troncos. Sin embargo, exceptuando las plantas de playa, la mayoría de las plantas de las Galápagos probablemente haya llegado por otros medios de dispersión.

#### **Grupos Ausentes**

La ausencia de ciertos grupos de animales es significativa en las islas Galápagos. No hay anfibios ni peces de agua dulce propios de estas islas. La razón para esto parece clara. Los anfibios y los peces de agua dulce no pueden sobrevivir mucho tiempo en agua salada, y por lo tanto no pudieron haber nadado o flotado hasta las islas. No hay coníferas nativas en las islas Galápagos, aunque los seres humanos han traído algunas especies. No hay ningún mamífero terrestre, aparte de la rata del arroz, que se cree que fue accidentalmente introducida por los humanos, y los dos murciélagos que pueden volar. No hay mamíferos con pezuña ni mamíferos carnívoros nativos.

La presencia o ausencia de diferentes especies animales está relacionada con el tipo de isla y su historia geológica. Las islas volcánicas oceánicas, como las Galápagos, habitualmente tienen patrones similares de presencia y ausencia. Por ejemplo, las islas hawaianas son famosas por sus aves endémi-

Algunas plantas, especialmente aquellas que viven a lo largo de las playas, se dispersaron a las Galápagos flotando y empujadas por las corrientes.

cas, y los únicos mamíferos terrestres nativos son la rata polinesia y una especie de murciélago. Hawaii tiene algunos peces de agua dulce, pero todos son peces marinos que se han adaptado a vivir en agua dulce o salobre. Ninguno de estos peces se dispersó a Hawaii desde otra masa terrestre. La baja diversidad de especies de las islas Galápagos es característica de las islas volcánicas remotas.

#### Resumen

Las islas Galápagos están muy lejos del continente y son mayormente secas (áridas). La mayoría de las especies llegaron allí por aire, ya fuera volando directamente, acarreadas por otras especies o siendo dispersadas por el viento. Varias especies llegaron nadando o flotando, y éstas viven a lo largo de las costas. Debido al aislamiento de las islas, la mayoría de las especies que llegan no pueden dispersarse a ningún otro lugar, así que la especiación es una característica importante, resultando en altas tasas de endemismo. La flora y la fauna únicas de las islas Galápagos pueden enseñarnos mucho sobre biogeografía, y justificar nuestros esfuerzos por proteger estos interesantes y valiosos recursos.



Los manglares y las campanillas de playa se dispersan gracias a sus semillas arrastradas por las corrientes oceánicas.

## Los Fósiles de las Galápagos

POR RONNY NALÍN



Figura 1: El cadáver de un león marino parcialmente descompuesto en una playa, isla Seymour Norte. Escala en cm. Los esqueletos se pueden mezclar con los depósitos de las playas y a través del tiempo convertise en fósiles.

as islas Galápagos son un icónico ✓ destino para los biólogos, quienes reverencian su relación con Charles Darwin y el viaje del Beagle, y para los que resulta emocionante la posibilidad de ver clásicos ejemplos de especies endémicas como la tortuga gigante terrestre de las Galápagos. Sin embargo, en lo que se refiere a fósiles, la emoción se desvanece rápidamente. Los afloramientos volcánicos en el archipiélago de Galápagos no parecen proveer la riqueza de muestras encontrada en otras localidades ricas en fósiles alrededor del mundo. Pero indudablemente hay fósiles presentes en las islas de Galápagos, los cuales han sido estudiados por los paleontólogos, y tienen una importante historia que contar. Esta breve evaluación aborda el dónde, qué, cuándo, y por qué de los fósiles en las islas Galápagos, y cierra con una discusión de su potencial contribución al desarrollo de modelos sobre los orígenes.

### ¿Dónde se encuentran los fósiles en las islas Galápagos?

Hay varios lugares donde pueden encontrarse fósiles en las islas Galápagos. Primero, los sedimentos depositados en las aguas poco profundas que rodearon las islas y que posteriormente emergieron por sobre el nivel del mar frecuentemente contienen fósiles de organismos marinos (como las conchas de moluscos).<sup>1</sup>

Un segundo entorno donde los fósiles quedaron preservados en estas islas son los tubos de lava. Los tubos de lava se forman durante las erupciones volcánicas cuando la superficie de un flujo de lava se enfría y se solidifica pero por debajo de ésta continúa fluyendo la lava fundida caliente. Cuando la lava se escurre de estos conductos en forma de tubo queda un espacio subterráneo vacío. Estos túneles y fisuras a menudo contienen sedimentos con restos fósiles de vertebrados terrestres.<sup>2</sup>

El tercer entorno donde se han descubierto fósiles es en el interior de algunas de las islas caracterizadas por un ambiente consistentemente más húmedo. Aquí se pueden encontrar pequeños lagos y lodazales formados dentro de cráteres volcá-

nicos inactivos. Los sedimentos que llenan el fondo de estas pequeñas depresiones contienen material vegetal fósil.<sup>3,4</sup>

### ¿Qué clases de fósiles se encuentran en las islas Galápagos?

Los fósiles que se encuentran en los depósitos sedimentarios marinos están dominados por invertebrados marinos, como bivalvos, gasterópodos, briozoos, corales, y percebes. 1,5,6,7 También se encuentran microfósiles planctónicos y de otros pequeños (< 2mm) animales conchíferos, como foraminíferos y ostrácodos que, si bien no son visibles a simple vista, son muy abundantes en los sedimentos. 5 Aunque es raro a veces se encuentran en estos sedimentos fragmentos de esqueletos de vertebrados marinos y terrestres como aves, lagartos, y lobos de mar. 1,5,7 (Fig. 1)

Entre los fósiles recolectados en los tubos de lava se incluyen decenas de miles de huesos y fragmentos de huesos de aves, reptiles, y mamíferos, así como conchas de caracoles terrestres.<sup>2,8,9</sup> Entre los restos de vertebrados se incluyen especímenes de las especies más icónicas de las Galápagos, como la tortuga gigante, la iguana terrestre, pinzones y sinsontes, junto con algunas otras especies de roedores, serpientes, lagartos, geckos, murciélagos, y aves. Curiosamente, la mayoría de estos huesos representan sobras de presas regurgitadas por los búhos de madrigueras de las Galápagos, una especie que duerme y anida en salientes en los tubos de lava. Los huesos de organismos más grandes (como las tortugas gigantes), por otro lado, representan a animales que cayeron y murieron atrapados en los tubos. (Fig. 2)

El material vegetal fósil recuperado del lodo y de los sedimentos lacustres consiste principalmente de polen y esporas microscópicos.<sup>3,4</sup> Sin embargo, también se han hallado restos macroscópicos pequeños (como semillas y fragmentos de plantas).<sup>10</sup>

## ¿Cuándo se formaron los fósiles de las islas Galápagos?

La cuestión de la edad es un asunto delicado para los creacionistas. Hay dos enfoques para fechar un objeto geológico, como un fósil o una roca. El primero, llamado datación (o datado) absoluta, tiene por objetivo asignar una edad numérica al objeto. El segundo, llamado datación relativa, trata de determinar si el objeto es más reciente o más antiguo que otros objetos, pero sin asignarle una edad numérica específica.

Las edades absolutas en geología están basadas en los métodos radiométricos de datación. Las edades radiométricas tienen valores que sugieren una cronología muy larga para la vida en la Tierra, creando un conflicto potencial con el registro bíblico.<sup>11</sup> Por esta razón, los creacionistas tienden a rechazar estos valores absolutos, buscando formas alternativas de explicar estos resultados. En general, sin embargo, hay cierta aceptación de que el orden relativo de las fechas (más recientes versus más antiguas) puede ser un indicador confiable de la edad relativa, sin tener en cuenta los valores absolutos. En las islas Galápagos, las edades de radiocarbono obtenidas para algunos de los huesos fósiles son casi siempre inferiores a 8000 años (8ka),12 con sólo un par de excepciones que arrojaron valores de alrededor de 20ka.<sup>2,8</sup> Las edades por radiocarbono de la materia orgánica asociada con el material fósil vegetal son también consistentemente inferiores a 26ka,4,13 con excepción de un estrato que arrojó un resultado mayor que 48ka.3 Los fósiles en depósitos marinos se consideran más jóvenes que dos millones de años (2Ma) sobre la base de las edades radiométricas de rocas volcánicas mezcladas con los depósitos.1 En la cronología estándar de edades largas estas edades obtenidas en las islas Galápagos tienen correlación con los intervalos superiores de la columna geológica (Pleistoceno y Holoceno).

En resumen, un enfoque mixto de datación absoluta y relativa parece sugerir que los fósiles de Galápagos se formaron durante la época más reciente de la historia de la Tierra, estando restringidos a las capas superiores de la columna geológica.

¿Por qué los paleontólogos están interesados en estudiar los fósiles de las islas Galápagos?

Los fósiles de las Galápagos son un archivo de la vida y la ecología anteriores de las islas. Entre los temas que los paleontólo-

gos están investigando se incluye: a) la documentación de patrones de la diversidad y tendencias morfológicas en las especies, con el propósito de hacerse una idea sobre cómo se originaron la fauna y la flora endémicas,<sup>2,15</sup> b) el estudio del impacto de la introducción

de flora y fauna no nativos sobre el ecosistema, con consecuencias para la ecología y la protección del medio ambiente, <sup>2,10</sup> y c) la reconstrucción de tendencias climáticas y eventos del pasado en las islas y en el sistema del océano Pacífico tropical.<sup>3,4</sup>

#### Implicaciones para los modelos creacionistas

Aunque no sean tan icónicos ni tan bien conocidos como sus homólogos vivientes, los fósiles de las islas Galápagos ofrecen algunas contribuciones valiosas a la discusión de los orígenes cuando se enfocan desde una perspectiva creacionista. Los siguientes puntos resumen algunas de las consideraciones más importantes.

Correlación con la Cronología Bíblica—Una de las preguntas claves hechas desde una perspectiva creacionista es si los fósiles de las Galápagos se formaron antes, durante, o después del diluvio bíblico. Es importante comprender que cualquier respuesta a esta pregunta está basada en modelos y suposiciones que pueden tener una base bíblica, pero que ciertamente no son parte de una revelación divina detallada. Por lo tanto, cualquier sugerencia debe ofrecerse con cuidado y humildad. Habiendo dicho esto, dos elementos importantes influyen sobre una posible respuesta que probablemente la mayoría de los creacionistas adoptaría. Primero, los fósiles parecen ser relativamente recientes, encontrándose en depósitos que a menudo están contenidos en elementos recientes del paisaje (por ej. tubos de lava, cráteres) y relacionados con las edades radiométricas del Plioceno y del Holoceno. En segundo lugar, los ordenamientos fósiles constan casi completamente de especies modernas, y no de tipos extintos.8,15 La mayoría de los creacionistas estaría de acuerdo en que las especies modernas son diferentes de las especies pre-diluvianas, ya que se adaptaron a las nuevas condiciones ambientales después del diluvio. Por lo tanto, cuando se consideran estos dos aspectos, una conclusión razonable dentro de un modelo creacionista sería que estos fósiles se formaron durante la era post-diluviana.





Figura 2: A) Las entradas que conectan con los tubos de lava subterráneos, isla Isabela. La boca del orificio tiene un diámetro de aproximadamente 50cm.

Figura 2: B) Carcasa de un gato que se encuentra dentro del tubo de lava de la ilustración A). La captura y muerte en los tubos de lava son uno de los procesos que dan lugar a la fosilización de los vertebrados terrestres en las islas Galápagos

Estasis y Velocidades de Evolución: Desde los tiempos de Darwin las especies modernas en las Galápagos se han presentado como una ilustración paradigmática de especiación y origen de nuevas especies desde una forma ancestral común. Sin embargo, los fósiles actualmente conocidos de las Galápagos no corroboran significativamente este relato. La abrumadora mayoría de los fósiles recuperados pertenece a especies modernas conocidas, con unos pocos ejemplos de formas extintas.<sup>2,6,15,16</sup> Por lo tanto, en vez de documentar un cambio gradual, los fósiles de las Galápagos ilustran la estasis, es decir, la persistencia de morfologías y especies a lo largo del tiempo. Podría objetarse que no se observan series de fósiles de transición porque el registro fósil de las islas es fragmentario y representa solamente el intervalo de tiempo más reciente. Sin embargo, esta última es una sugerencia basada en datos que no tenemos. Lo que es observable no captura transiciones evolutivas.

Orden en el registro fósil—Los diferentes tipos de fósiles no están distribuidos al azar en la columna geológica, sino que siguen un patrón específico de aparición y desaparición. Los fósiles de las islas Galápagos pueden utilizarse como un modelo para explorar por qué los diferentes tipos de fósiles no se mezclan en los estratos, sino que tienen cierto orden. Dos factores principales parecen entrar en juego: el tiempo y el espacio. No hay fósiles de dinosaurios ni de leones africanos en las Galápagos. Sabemos que los leones africanos no están extintos, pero viven solamente en el continente africano. Por lo tanto, la razón por la que los leones no se fosilizaron en las Galápagos está vinculada con su distribución geográfica (el espacio). Por otro lado, los dinosaurios están extintos. Por lo tanto, pudiera ser que nunca se fosilizaron en las islas Galápagos porque no estuvieron presentes en la Tierra en el momento (tiempo) de formación de los fósiles de las islas Galápagos (el espacio). La presencia o la ausencia de ciertos grupos de organismos en el tiempo y el espacio condicionaron la distribución ordenada de los fósiles, tanto en la interpretacion creacionista del registro fósil como en la evolucionista.

El proceso de fosilización— Los fósiles hallados en las islas Galápagos pueden

utilizarse para mostrar cómo el proceso de fosilización depende tanto de las características de los organismos como del entorno de su deposición. Por ejemplo, las criaturas marinas mejor representadas en los fósiles de las Galápagos son aquellas con conchas y partes duras. Los animales de cuerpo blando, como los pepinos de mar, tienen una probabilidad mucho menor de fosilizar. El entorno de la deposición también es crucial para la fosilización. Por ejemplo, las lavas volcánicas no son favorables para la preservación de organismos muertos, pero si están presentes trampas donde el sedimento puede acumularse (por ej. los tubos de lava) se pueden encontrar fósiles incluso en terrenos volcánicos. Además, los ambientes terrestres (por ej. lagos y lodazales) son más propensos a preservar fósiles de organismos terrestres (por ej. plantas terrestres) y los ambientes marinos tenderán a ser dominados por fósiles de organismos marinos. Basándonos en las islas Galápagos, podríamos llegar a la conclusión de que indudablemente la fosilización no es ubicua y no protege a todos los tipos de organismos, pero incluso en ambientes desfavorables (por ejemplo, en provincias volcánicas), la fosilización no es tan improbable como uno pudiera pensar. Retratar el registro de fósil como muy fragmentario e incompleto puede ser una mala caracterización de un archivo muy rico en formas de vida anteriores.

#### Referencias:

<sup>1</sup>Hickman, C.S. and J.H. Lipps, Geologic youth of Galápagos Islands confirmed by marine stratigraphy and paleontology. Science, 1985. 227(4694): p. 1578-1580.

<sup>2</sup>Steadman, D.W., et al., Chronology of Holocene vertebrate extinction in the Galápagos Islands. Quaternary Research, 1991. 36(1): p. 126-133.

<sup>3</sup>Colinvaux, P.A., Climate and the Galapagos Islands. Nature, 1972. 240(5375): p. 17-20.

<sup>4</sup>Collins, A.F., M.B. Bush, and J.P. Sachs, Microrefugia and species persistence in the Galápagos highlands: a 26,000-year paleoecological perspective. Frontiers in Genetics, 2013. 4: p. 269.

<sup>5</sup>Finger, K.L., et al. Pleistocene Marine Paleoenvironments on the Galapagos Islands. in GSA Abstracts with Programs. 2007. <sup>6</sup>Ragaini, L., et al., Paleoecology and paleobiogeography of fossil mollusks from Isla Isabela (Galápagos, Ecuador). Journal of South American Earth Sciences, 2002. 15(3): p. 381-389.

<sup>7</sup>Johnson, M.E., P.M. Karabinos, and V. Mendia, Quaternary Intertidal Deposits Intercalated with Volcanic Rocks on Isla Sombrero Chino in the Galápagos Islands (Ecuador). Journal of Coastal Research, 2010: p. 762-768.

Steadman, D.W., Holocene vertebrate fossils from Isla Floreana, Galápagos. Smithsonian Contirbutions to Zoology, 413: 104 pp.

<sup>9</sup>Chambers, S.M. and D.W. Steadman, Holocene terrestrial gastropod faunas from Isla Santa Cruz and Isla Floreana, Galapagos: evidence for late Holocene declines. Transactions of the San Diego Society of Natural History, 1986. 21(6): p. 89-110. <sup>10</sup>Coffey, E.E.D., C.A. Froyd, and K.J. Willis, When is an invasive not an invasive? Macrofossil evidence of doubtful native plant species in the Galápagos Islands. Ecology, 2011. 92(4): p. 805-812.

<sup>11</sup>El debate del enfoque creacionista sobre la datación radiométrica se aparta del alcance de este trabajo, pero puede encontrarse un instructivo resumen en https://grisda.wordpress.com/2013/07/29/radiometric-dating/

<sup>12</sup>ka = Miles de años antes del presente

<sup>13</sup>van Leeuwen, J.F., et al., Fossil pollen as a guide to conservation in the Galápagos. Science, 2008. 322(5905): p. 1206-1206.

 $^{14}\mathrm{Ma} = \mathrm{Millones}$  de años antes del presente

<sup>15</sup>James, M.J., A new look at evolution in the Galapagos: evidence from the late Cenozoic marine molluscan fauna. Biological Journal of the Linnean Society, 1984. 21(1-2): p. 77-95.

<sup>16</sup>Steadman, D.W. and C.E. Ray, The Relationships of *Megaoryzomys curioi*, an Extinct Cricetine Rodent (Muroidea: Muridae) from the Galapagos Islands, Ecuador. Smithsonian Contributions to Paleobiology, 51: 24 pp.





### **GEOSCIENCE**

RESEARCH INSTITUTE
11060 Campus St.
Loma Linda, CA 92350
NÚMERO 89 JUNIO 2016



Si usted habla inglés le invitamos a seguirnos en Facebook: facebook.com/ geoscienceresearchinstitute



También tenemos un blog en inglés: http://grisda.wordpress.com/