

Artículo

REVISTA NATURE

Quince joyas de la evolución

La teoría de la evolución por selección natural de Darwin ha revolucionado campos no sólo relacionados a la biología o las ciencias naturales: inevitablemente remueve también las consideraciones, implicaciones y consecuencias antropológicas, psicológicas, filosóficas, éticas y culturales de nuestra sociedad.

A nivel de las ciencias naturales, la mayoría de los biólogos dan por descontada la idea de que toda la vida ha evolucionado por selección natural durante miles de millones de años. Desde esta base, investigan y enseñan sus disciplinas con la seguridad de que la selección natural es un hecho, de la misma manera que la tierra gira alrededor del sol.

Sin embargo, dado que los conceptos y realidades

de la evolución darwiniana aún son cuestionados, es útil tener a mano información sucinta de por qué la evolución por selección natural está empíricamente validada.

La prestigiosa publicación científica *Nature* ofrece y pone a libre disposición del público¹ una selección de quince ejemplos que encontramos en la naturaleza para ilustrar, con amplitud y profundidad, el poder del pensamiento evolutivo y su correspondiente evidencia fáctica. Estos quince ejemplos corresponden a hallazgos en el campo de los registros fósiles, e ilustran los cambios que la evolución por selección natural ha manifestado en los seres vivos para llegar a conformar el mundo tal como nosotros lo conocemos hoy en día.

➤ **Artículo publicado en la Revista *Nature*. Henry Gee, Rory Howlett y Philip Campbell.**

Traducido y adaptado por Fabiola Leyton D.

La mayoría de los biólogos dan por descontada la idea de que toda la vida ha evolucionado por selección natural durante miles de millones de años. Desde esta base, investigan y enseñan sus disciplinas con la seguridad de que la selección natural es un hecho, de la misma manera que la tierra gira alrededor del sol.

Dado que los conceptos y realidades de la evolución darwiniana aún son cuestionados, es útil tener a mano información sucinta de por qué la evolución por selección natural está empíricamente validada. *Nature* ofrece y pone a libre disposición del público una selección de quince ejemplos que encontramos en la naturaleza para ilustrar, con amplitud y profundidad, el poder del pensamiento evolutivo.

Joyas del registro fósil

- 1) Los ancestros terrestres de las ballenas
- 2) Del agua a la tierra
- 3) El origen de las plumas
- 4) La historia evolutiva de los dientes
- 5) El origen del esqueleto vertebrado

Joyas del hábitat

- 6) La selección natural en la diferenciación de especies
- 7) La selección natural en los lagartos
- 8) Un caso de co-evolución
- 9) Diferencial en la dispersión de las aves silvestres
- 10) Supervivencia diferencial en peces silvestres
- 11) La historia evolutiva importa

Joyas de los procesos moleculares

- 12) Los pinzones de las Galápagos
- 13) Encuentro entre micro y macro evolución
- 14) Resistencia a las toxinas en serpientes y almejas
- 15) Variación versus estabilidad

➤ **1. Los ancestros terrestres de las ballenas**

Los fósiles ofrecen pruebas cruciales para la evolución, porque revelan las marcas y formas de los seres vivos ya desaparecidos de la faz de la tierra. Algunos fósiles incluso documentan la evolución "en acción", conservando a los seres petrificados en movimiento o en transición entre unos ambientes y otros.

Las ballenas, por ejemplo, están hermosamente adaptadas a vivir en el agua, y así ha sido durante millones de años. Pero como nosotros, son mamíferos. Respiran aire, paren y amamantan a sus crías. Existe buena evidencia de que los mamíferos originalmente evolucionaron en la tierra. Si esto es así, entonces los ancestros de las ballenas emigraron al agua en algún momento.

Para el caso de las ballenas, existen numerosos fósiles de los primeros 10 millones de años o más. Estos incluyen diversos fósiles de criaturas acuáticas como el *Ambulocetus* y el *Pakicetus*, que muestran características que hoy vemos sólo en las ballenas -especialmente en la anatomía del oído- pero también cuentan con extremidades, como los mamíferos terrestres de donde claramente derivan. Técnicamente, estas criaturas híbridas eran ballenas. Lo que nos perdimos es el principio de la historia: las criaturas

1. Nature: "We offer here 15 examples published by Nature over the past decade or so to illustrate the breadth, depth and power of evolutionary thinking. We are happy to offer this resource freely and encourage its free dissemination". <http://www.nature.com/nature/newspdf/evolutiongems.pdf>

terrestres de las cuales evolucionaron las ballenas.

Algunos trabajos publicados en 2007 podrían apuntar a ese grupo. Fósiles de los llamados *Raoellidos*, indican que estas criaturas podrían ser similares a pequeños perros, pero más cercanos a los animales pequeños de pie ungulado -el grupo que incluye a las vacas, ovejas, venados, cerdos e hipopótamos. La evidencia molecular también sugiere que las ballenas y los mamíferos ungulados comparten una antigua conexión evolutiva.

El estudio, dirigido por Hans Thewissen de los Colegios de Medicina y Farmacia de Rootstown, de las Universidades del Noreste de Ohio, muestra que un *Raoellido*, *Indohyus*, es similar a las ballenas, pero muestra diferencia con los ungulados en la estructura de sus oídos, el espesor de sus huesos y la composición química de sus dientes. Estos indicadores sugieren que esta criatura, del tamaño de un mapache, pasaba mucho tiempo en el agua. El *Raoellido* típico, sin embargo, no tenía una dieta como la de las ballenas, lo que sugiere que el cambio de dieta podría haber sido un estímulo importante para cambiar el ambiente terrestre por el acuático.

Este estudio muestra la existencia del potencial de transición en los registros fósiles. Se podrían dar más ejemplos pero también sabemos que hay muchos casos más por descubrirse, especialmente en los animales que están bien representados por los registros fósiles.

Referencias

- Thewissen, J.G.M., Cooper, L.N., Clementz, M.T., Bajpai, S. & Tiwari, B. N. *Nature* 450, 1190–1194 (2007).

Recursos adicionales

- Thewissen, J. G. M., Williams, E. M., Roe, L. J. & Hussain, S. T. *Nature* 413, 277–281 (2001) de Muizon, C. *Nature* 413, 259–260 (2001). Novacek, M. J. *Nature* 368, 807 (1994). Zimmer, C. *At The Water's Edge* (Touchstone, 1999).

Video de la investigación

<http://www.nature.com/nature/videoarchive/ancientwhale>

Web del autor

- Hans Thewissen:
<http://www.neoucom.edu/DEPTS/ANAT/Thewissen>

➤ 2. Del agua a la tierra

Los animales con los que somos más familiares son los tetrápodos - vertebrados que viven en la tierra. Éstos incluyen a los humanos, casi todos los animales domésticos y la mayoría de los silvestres que podría reconocer cualquier niño: mamíferos, aves, anfibios y reptiles. El grupo más numeroso de vertebrados, sin embargo, no es tetrápodo: los peces. Hay más tipos de peces, de hecho, que todas las especies de tetrápodos combinados. Mirando evolutiva-

mente, los tetrápodos son sólo una rama de la familia de los peces, los miembros que justamente se adaptaron para vivir fuera del agua.

La primera transición del agua a la tierra sucedió hace más de 360 millones de años. Fue uno de los movimientos más exigentes hechos en la historia de la vida. ¿Cómo llegan las aletas a transformarse en piernas? ¿Y cómo las criaturas de transición se las arreglaron frente a las formidables exigencias de la vida terrestre, de un ambiente seco con una gran carga gravitacional? Antes se pensaba que los primeros peces evolucionaron para pasar más y más tiempo en la tierra, volviendo al agua sólo para reproducirse. Pero desde los últimos 20 años, los paleontólogos han descubierto fósiles que hacen replantearse esta idea. Los tetrápodos más tempranos, como el *Acanthostega* de Groenlandia Oriental, alrededor de 365 millones de años atrás, tenía piernas completamente formadas incluyendo los dedos de los pies, pero mantuvo internamente las branquias, que se habrían secado con el contacto prolongado con el aire. Los peces desarrollaron piernas mucho antes de que vinieran a la tierra. Los primeros tetrápodos hicieron la mayor parte de su evolución en un ambiente más clemente. Llegar a la costa y asentarse en tierra parece haber sido una última etapa.

Los investigadores sospechan que los ancestros de los tetrápodos eran criaturas llamadas *elpistostegidos*. Estos eran grandes peces carnívoros, que habrían tenido un aspecto y comportamiento muy similar al de los caimanes. Se veían como tetrápodos en muchos aspectos, salvo que todavía conservaban sus aletas. Hasta hace poco, los *elpistostegidos* eran conocidos sólo por pequeños fragmentos de fósiles mal conservados, por lo que ha sido difícil conseguir una imagen real de cómo eran.

En el último par de años, varios descubrimientos en la isla de Ellesmere, en la región de Nunavut en el norte de Canadá han cambiado todo esto. En 2006, Edward Daeschler y sus colegas describieron un fósil de *elpistostegido* espectacularmente bien conservado. El ejemplar, conocido como Tiktaalik ha permitido construir una buena imagen de este depredador acuático - a partir de su cuello flexible y su extremidad muy similar a la estructura de la aleta.

El descubrimiento y el análisis cuidadoso de Tiktaalik ilumina el escenario evolutivo de los tetrápodos, y muestra cómo el registro de fósiles arroja sorpresas totalmente compatibles con el pensamiento evolucionista.

Referencias

- Daeschler, E. B., Shubin, N. H. & Jenkins, F. A. *Nature* 440, 757–763 (2006).
- Shubin, N. H., Daeschler, E. B., & Jenkins, F. A. *Nature*

440, 764–771 (2006).

Recursos adicionales

- Ahlberg, P. E. & Clack, J. A. *Nature* 440, 747–749 (2006).
- Clack, J. *Gaining Ground* (Indiana Univ. Press, 2002).
- Shubin, N. *Your Inner Fish* (Allen Lane, 2008).
- Gee, H. *Deep Time* (Fourth Estate, 2000).
- Tiktaalik homepage: <http://tiktaalik.uchicago.edu>

Webs de los autores

- Edward Daeschler:
http://www.ansp.org/research/biodiv/vert_paleo/staff.php
- Neil Shubin:
http://pondside.uchicago.edu/oba/faculty/shubin_n.html

➤ 3. El origen de las plumas

Una de las objeciones a la teoría evolucionista de Darwin es la falta de “formas de transición” en los registros fósiles –formas que ilustren la evolución en acción, desde un grupo de animales hacia otro–. Sin embargo, un año después de la publicación del Origen de las Especies, se descubrió una aislada pluma del Jurásico tardío (150 millones de años atrás), en las calizas litográficas de Solnhofen en Bavaria, seguido en 1861 del primer fósil *Archaeopteryx*, una creatura con muchas características primitivas de los reptiles, como dientes y una larga y huesuda cola, pero dotado de alas y plumas de vuelo, como un pájaro.

Aunque el *Archaeopteryx* es comúnmente conocido como el ave más primitiva, muchos sospechan que es mejor clasificar este animal como un dinosaurio, a pesar de la presencia de las plumas. Thomas Henry Huxley, un colega y amigo de Darwin, discutió sobre la posibilidad evolucionista de la relación entre los dinosaurios y las aves, y los paleontólogos especularon si sería posible algún día encontrar dinosaurios con plumas.

En 1980, en unos depósitos del Cretácico temprano (125 millones de años) ubicados en la provincia de Liaoning en el norte de China, se reivindicaron estas especulaciones de manera dramática, con el descubrimiento de muchas aves primitivas, junto a dinosaurios provistos de una cubierta similar a las plumas, y otros con plumas. Comenzando con el descubrimiento del pequeño terópodo *Sinosauropteryx* por Pei-ji Chen, del Instituto de Geología y Paleontología de Nanjing y sus colegas, se han descubierto una gran variedad de cubiertas de pluma. Muchos de estos dinosaurios emplumados no podrían haber volado, demostrando que las plumas evolucionaron primariamente para motivos que no eran el vuelo, posiblemente el atractivo sexual o el aislamiento térmico. En 2008, Fucheng Zhang y sus colegas de la Academia China de Ciencias de Beijing anunciaron el hallazgo del *Epidexipteryx*, un pequeño dinosaurio con plumaje bajo y cuatro largas plumas a

modo de cola. Los paleontólogos comienzan a especular que las plumas no eran difíciles de encontrar, sino que eran más bien un hecho común para los dinosaurios.

El descubrimiento de los dinosaurios con plumas no sólo justificó la idea de las formas de transición, sino que también mostró que la evolución provee de una gran variedad de soluciones a situaciones que no sabíamos que fuesen problemáticas. El hecho de volar podría haber sido una oportunidad adicional que se presentó a unas criaturas que ya iban cubiertas de plumas, por otras situaciones.

Referencias

- Chen, P.-J., Dong, Z.-M. & Zhen, S.-N. *Nature* 391, 147–152 (1998).
- Zhang, F., Zhou, Z., Xu, X., Wang, X. & Sullivan, C. *Nature* 455, 1105–1008 (2008).

Recursos adicionales

- Gee, H. (ed.) *Rise of the Dragon* (Univ. Chicago Press, 2001).
- Chiappe, L. *Glorified dinosaurs* (Wiley-Liss, 2007).
- Gee, H. & Rey, L. V. *A Field Guide to Dinosaurs* (Barron's Educational, 2003).

➤ 4. La historia evolutiva de los dientes

Una motivación para estudiar el desarrollo es el descubrimiento de los mecanismos que guían el cambio evolutivo. Kathryn Kavanagh de la Universidad de Helsinki y sus colegas, investigaron el mecanismo tras el tamaño relativo y el número de piezas molares en ratas. La investigación, publicada en 2007, descubrió patrones de expresión genética que determinan el desarrollo de los dientes. Los molares emergen desde la frente hacia atrás, y cada diente es más pequeño que el anterior.

La belleza de este estudio radica en su aplicación. Su modelo predice los patrones de dentición en ratas, como especie roedora que tiene diferentes dietas, lo que da un ejemplo de cómo la evolución se maneja ecológicamente a través del desarrollo de diferentes trayectorias selectivas. En general, el trabajo muestra cómo los patrones de expresión genética pueden ser modificados durante la evolución para producir cambios adaptativos en los sistemas naturales.

Referencias

- Kavanagh, K. D., Evans, A. R. & Jernvall, J. *Nature* 449, 427–432 (2007).

Recursos adicionales

- Polly, P. D. *Nature* 449, 413–415 (2007).
- Evans, A. R., Wilson, G. P., Fortelius, M. & Jernvall, J. *Nature* 445, 78–81 (2006).
- Kangas, A. T., Evans, A. R., Thesleff, I. & Jernvall, J. *Nature* 432, 211–214 (2004).

- Jernvall, J. & Fortelius, M. *Nature* 417, 538–540 (2002).
- Theodor, J. M. *Nature* 417, 498–499 (2002).

Web del autor

- Jukka Jernvall:

<http://www.biocenter.helsinki.fi/bi/evodevo>

➤ 5. El origen del esqueleto vertebrado

Debemos mucho de lo que nos hace humanos a los tejidos remarcables, que se encuentran sólo en los embriones, llamado cresta neural. Las células de la cresta neural emergen en el desarrollo de la médula espinal y emigran a través de todo el cuerpo, ejecutando una serie de transformaciones. Sin la cresta neural, no tendríamos la mayoría de los huesos de nuestra cara y cuello, o muchas características de nuestra piel y órganos sensoriales. La cresta neural parece ser única en los vertebrados, y ayuda a explicar por qué los vertebrados tienen sus cabezas y caras tan distintivas.

Desenmarañar la historia evolutiva de la cresta neural es especialmente difícil en las formas fósiles, pues los datos embrionarios están, obviamente, ausentes. Uno de los misterios clave, por ejemplo, es cuánto de la calavera de los vertebrados es aportado por las células de la cresta neural y cuánto proviene de las capas más profundas de los tejidos.

Las nuevas técnicas han permitido a los investigadores etiquetar y seguir el desarrollo celular de los embriones. Ellos han puesto de manifiesto los límites de los huesos derivados de la cresta neural, hasta el simple nivel de la célula, en el cuello y los hombros. El tejido derivado de las anclas de la cresta neural de la cabeza, en la pared frontal de la cintura escapular, considera que la formación esquelética de la parte posterior del cuello y hombro crece a partir de una profunda capa de tejido llamada mesodermo.

Esta detallada cartografía, en animales vivos, arroja luz sobre la evolución de las estructuras de las cabezas y los cuellos de los animales extintos, incluso sin las partes blandas fosilizadas, como la piel y el músculo. Similitudes del esqueleto que resultan de una historia evolutiva compartida puede ser identificadora de las inserciones musculares. Esto permite la localización de, por ejemplo, la ubicación del hueso más grande del hombro en un gran antepasado de los vertebrados, el *cleithrum*. Este hueso parece sobrevivir como parte de la escápula (omóplato) en los mamíferos vivientes.

Este tipo de análisis evolutivo puede tener una relevancia clínica inmediata. Las partes del esqueleto identificados por Toshiyuki Matsuoka del Instituto Wolfson de Investigación Biomédica en Londres y sus colegas, como derivada de la cresta neural son afectados específicamente en va-

rios trastornos del desarrollo en los seres humanos, aportando conocimientos sobre sus orígenes.

El estudio de Matsuoka muestra cómo un análisis detallado de la morfología de los animales vivos, mirados desde el evolucionismo, ayuda a los investigadores a interpretar las formas de vida extintas y fosilizadas.

Referencias

- Matsuoka, T. *et al. Nature* 436, 347–355 (2005).

Web del autor

- Georgy Koentges:

<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/systemsbiology>

➤ 6. Selección natural en la diferenciación de especies

La teoría evolucionista predice que la selección natural tendrá un rol clave en la diferenciación de especies. Trabajando con gasterosteos (*Gasterosteus aculeatus*), Jeffrey McKinnon de la Universidad de Wisconsin en Whitewater y sus colegas reportaron en 2004 que el aislamiento reproductivo puede evolucionar como un subproducto de la selección en el tamaño del cuerpo. Este trabajo relaciona la acumulación de aislamiento reproductivo y la divergencia de un rasgo ecológico importante.

El estudio se realizó en una escala geográfica extraordinaria, incluyendo ensayos de acoplamiento entre el pescado capturado en Alaska, Columbia Británica, Islandia, el Reino Unido, Noruega y Japón. Fue respaldado por análisis genéticos moleculares que proporcionan pruebas sólidas de que los peces que se han adaptado a vivir en los ríos se habían desarrollado en repetidas ocasiones de antepasados marinos, o de peces que viven en el océano, pero regresan al agua dulce para desovar. La población migratoria en el estudio tenía en promedio, los órganos más grandes que los peces que viven en los arroyos. Los individuos tienden a aparearse con los peces de un tamaño similar, lo que explica bien el aislamiento reproductivo entre los diferentes ecotipos y sus cercanos.

Teniendo en cuenta las relaciones evolutivas, una comparación de los diversos tipos de pez espinoso, ya sean de arroyo o marinos, apoya firmemente la opinión de que la adaptación a diferentes ambientes genera aislamiento reproductivo. Los experimentos de los investigadores también confirmaron la relación entre la divergencia de tamaño y la acumulación de aislamiento reproductivo - aunque otros rasgos además del tamaño también contribuyen, en cierta medida, al aislamiento reproductivo.

Referencias

- McKinnon, J. S. *et al. Nature* 429, 294–298 (2004).

Recursos adicionales

- Gillespie, R. G. & Emerson, B. C. *Nature* 446, 386–387 (2007).

- Kocher, T. D. *Nature* 435, 29–30 (2005).
- Emerson, B. C. & Kolm, N. *Nature* 434, 1015–1017 (2005).

Webs de los autores

- Jeffrey McKinnon:
<http://facstaff.uww.edu/mckinnoj/mckinnon.html>
- David Kingsley:
<http://kingsley.stanford.edu>
- Dolph Schluter:
<http://www.zoology.ubc.ca/~schluter>

➤ 7. Selección natural en lagartos

Una teoría evolutiva popular es que los cambios de comportamiento en los nuevos entornos anulan los efectos de la selección natural. Pero el trabajo de Jonathan Losos y sus colegas de la Universidad de Harvard en 2003 dan poco apoyo a esta teoría. Los investigadores introdujeron un lagarto depredador de grandes territorios, el *Leiocephalus carinatus* en seis pequeñas islas en las Bahamas, con otros lagartos de la isla como población de control. En la investigación, se comprobó que las presas del lagarto, un pequeño lagarto llamado *Anolis sagrei*, pasaron más tiempo sobre la vegetación en las islas ocupadas por el depredador más grande, de lo que hizo en las islas donde el *L. carinatus* estaba ausente. Pero la mortalidad de las *A. sagrei* seguía siendo tan alta en las islas experimentales como en las islas de control.

La presencia de los depredadores, seleccionados por tener patas más largas que los *A. sagrei*, hizo que éstos desarrollaran la habilidad de correr más rápido, pero también favoreció el desarrollo de hembras más grandes, por lo que ambos eran más rápidos y más difíciles de cazar e ingerir. Los investigadores no detectaron ninguna selección del tamaño en los machos, por lo que sugirieron que los machos grandes podrían ser más vulnerables debido a su comportamiento territorial.

El estudio muestra cómo la introducción de un depredador puede no sólo hacer que los individuos de una especie de presa cambien su comportamiento a fin de reducir el riesgo de depredación, sino que también provocan una respuesta evolutiva a nivel de la población que se diferencia entre los sexos en función de su ecología.

Referencias

- Losos, J. B., Schoener, T. W. & Spiller, D. A. *Nature* 432, 505–508 (2004).

Recursos adicionales

- Butler, M. A., Sawyer, S. A. & Losos, J. B. *Nature* 447, 202–205 (2007).
- Kolbe, J. J. *et al.* *Nature* 431, 177–181 (2004).
- Calsbeek, R. & Smith, T. B. *Nature* 426, 552–555 (2003).

- Losos, J. B. *et al.* *Nature* 424, 542–545 (2003).

Web del autor

- Jonathan Losos:
<http://www.oeb.harvard.edu/faculty/losos/jblosos>

➤ 8. Un caso de co-evolución

Las especies evolucionan juntas y en competencia. Los depredadores evolucionan cada vez con más armas y habilidades para atrapar a sus presas, quienes, como un resultado de la darwiniana “lucha por la existencia” resultan mejores escapando de los depredadores, y la guerra continúa. En 1973, el biólogo evolucionista Leigh Van Valen relacionó esto con el comentario de la Reina Roja de Alicia, en el cuento de Lewis Carroll “A través del espejo”: “hace falta correr todo cuanto una pueda para permanecer en el mismo sitio. Si se quiere llegar a otra parte hay que correr por lo menos dos veces más rápido”. La hipótesis de la Reina Roja sobre la co-evolución había nacido.

Un problema al estudiar la dinámica de la Reina Roja es que sólo puede ser visto en el eterno presente. Descubrir su historia es problemático, porque la evolución generalmente oblitera todas las etapas anteriores.

Felizmente, Ellen Decaestecker de la Universidad Católica de Lovaina en Bélgica y sus colegas descubrieron en 2007 una importante excepción a esta regla, en la carrera co-evolutiva entre las pulgas de agua (*Daphnia*) y los parásitos microscópicos que las infestan. Cuando las moscas se vuelven más eficientes evitando el parasitismo, los parásitos se convierten en mejores infectándolas. Ambos, depredador y presa persisten en su sistema en estados latentes durante muchos años, en el barro del fondo del lago que comparten. Los sedimentos del lago pueden ser datados desde el año en que se formaron, y los predadores y presas enterrados en su fondo pueden ser “revividos”. Así, sus interacciones pueden ser testeadas, uno contra otro, desde sus pasados y futuros relativos.

Confirmando las expectativas teóricas, el parásito se adapta a su huésped en un período de unos pocos años. Su inefectividad cambia un poco, pero su virulencia y estado físico aumentó de forma continua, aparejado en cada etapa por la capacidad de las pulgas para evitarlo.

El estudio provee un elegante ejemplo en que los registros de alta resolución histórica del proceso co-evolutivo han dado una afirmación a la teoría evolucionista, mostrando que las interacciones entre los parásitos y sus huéspedes no es fija en el tiempo sino que resulta de una lucha dinámica con las armas de la adaptación y contraadaptación, manejada por la selección natural, de generación en generación.

Referencias

- Decaestecker, E. *et al. Nature* 450, 870–873 (2007).

Recursos adicionales

- The Red Queen Hypothesis:

http://en.wikipedia.org/wiki/Red_Queen

- Van Valen, L. *Evol. Theory* 1, 1–30 (1973).

Web del autor

- Ellen Decaestecker:

http://bio.kuleuven.be/de/dea/people_detail.php?pass_id=u0003403

➤ 9. Diferencias en la dispersión de las aves silvestres

El flujo de genes causados, por ejemplo, por la migración, pueden alterar la adaptación a las condiciones locales y se oponen a la diferenciación evolutiva dentro y entre las poblaciones. De hecho, la teoría clásica de la genética de poblaciones sugiere que cuanto más emigran y se entrecruzan las poblaciones locales, serán más similares genéticamente. Este concepto parece concordar con el sentido común, y se supone que el flujo de genes es un proceso aleatorio, como la difusión. Pero la dispersión no-aleatoria puede favorecer la adaptación local y la diferenciación evolutiva, como Ben Sheldon, del Instituto Edward Grey de Ornitología de Campo, en Oxford, Reino Unido, y sus colegas publicaron en el 2005.

Su trabajo fue parte de un estudio de varias décadas del carbonero común (*Parus major*) que habita los bosques de Oxfordshire, Reino Unido. Los investigadores encontraron que la cantidad y el tipo de variación genética en el peso del polluelo de esta ave cantora difiere entre los tipos de madera del árbol. Este patrón de variación da lugar a diversas respuestas a la selección de diferentes partes de la madera al anidar, de acuerdo a la adaptación local. El efecto se ve reforzado por la dispersión no-azarosa; las aves individuales seleccionan y se reproducen en diferentes hábitats de forma que aumenta su estado físico. Los autores concluyen que "cuando el flujo de genes no es homogéneo, la diferenciación evolutiva puede ser rápida y puede ocurrir entre escalas espaciales sorprendentemente pequeñas".

En otro estudio de carbonero común en la isla de Vlieland, en los Países Bajos, publicado en el mismo número de *Nature*, Erik Postma y Arie van Noordwijk, del Instituto Holandés de Ecología en Heteren encontraron que el flujo de genes, mediada por la dispersión no-azarosa, mantiene una diferencia genética de gran tamaño en la nidada de una pequeña escala espacial, lo que ilustra una vez más lo que los científicos describieron como "el gran efecto de la inmigración sobre la evolución de la adaptaciones locales y sobre la estructura genética de la población".

Referencias

- Garant, D., Kruuk, L. E. B., Wilkin, T. A., McCleery, R. H.

& Sheldon, B. C. *Nature* 433, 60–65 (2005).

- Postma, E. & van Noordwijk, A. J. *Nature* 433, 65-68 (2005).

Recursos adicionales

- Coltman, D. W. *Nature* 433, 23–24 (2005).

Webs de los autores

- Ben Sheldon:

http://www.zoo.ox.ac.uk/egi/people/faculty/ben_sheldon.htm

- Erik Postma:

<http://www.nioo.knaw.nl/ppages/epostma>

- Arie van Noordwijk:

<http://www.nioo.knaw.nl/PPAGES/avannoordwijk>

- David Coltman:

http://www.biology.ualberta.ca/faculty/david_coltman

➤ 10. Supervivencia diferencial en peces silvestres

La selección natural favorece los rasgos que aumentan el estado físico. Con el tiempo, tal selección podría esperar agotar la variación genética por la ventaja de ciertas variantes genéticas a expensas de las menos favorables- o variantes deletéreas. De hecho, las poblaciones naturales a menudo presentan grandes cantidades de variación genética. Entonces, ¿cómo se explica esto?

Un ejemplo es el polimorfismo genético que se presenta en los patrones de color de guppys macho (*Poecilia reticulata*). Como informó en 2006 Kimberly Hughes de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign y sus colegas, al manipular las frecuencias de los colores de los machos con diferentes patrones de color en tres poblaciones silvestres en Guppy Trinidad. Ellos demostraron que las variantes raras tienen tasas de supervivencia mucho más altas que las más comunes. En esencia, las variantes se ven favorecidas cuando son raras, y seleccionadas en contra cuando son comunes. Tal sobrevivencia "dependiendo de la frecuencia", en la que la selección favorece a los tipos raros, se ha implicado en el mantenimiento de los polimorfismos moleculares y morfológicos relacionados a la salud en los seres humanos y otros mamíferos.

Referencias

- Olendorf, R. *et al. Nature* 441, 633–636 (2006).

Recursos adicionales

- Foerster, K. *et al. Nature* 447, 1107–1110 (2007).

Webs de los autores

- Kimberly Hughes:

<http://www.bio.fsu.edu/faculty-hughes.php>

- Anne Houde:

<http://www.lakeforest.edu/academics/faculty/houde>

- David Reznick:

<http://www.biology.ucr.edu/people/faculty/Reznick.html>

➤ 11. La historia evolutiva importa

La evolución a menudo se piensa como la búsqueda de soluciones óptimas a los problemas que presenta la vida. Pero la selección natural sólo puede trabajar con los materiales a la mano -materiales que son ellos mismos los resultados de muchos millones de años de historia evolutiva. Nunca se comienza con una pizarra en blanco. Si ese fuera el caso, entonces los tetrápodos enfrentados a la tarea de moverse en la tierra no habrían transformado sus aletas en piernas, quizás habrían desarrollado ruedas.

Un caso real de la ingenuidad de la adaptación se refiere a la morena (*Muraena retifera*), una larga serpiente depredadora de los arrecifes. Históricamente, los peces óseos usan la succión para atrapar a sus presas. El pez se acerca a la presa abriendo su boca hasta que crea una larga cavidad donde quepa la presa y un poco de agua. Como el exceso de agua es expulsado por las agallas, el pez traga la presa hasta su garganta y mandíbulas faríngeas, un segundo grupo de mandíbulas y dientes procedentes del soporte esquelético de las branquias. Pero las morenas tienen un problema debido a su forma alargada y estrecha. Su cavidad bucal es demasiado pequeña para generar suficiente capacidad de succión para llevar la presa a sus mandíbulas faríngeas. La solución a este enigma se ha documentado en 2007.

A través de una cuidadosa observación y fotografía de rayos X-, Rita Mehta y Peter Wainwright de la Universidad de California-Davis, descubrieron la solución evolutiva. En lugar de llevar la presa a las mandíbulas faríngeas, las mandíbulas faríngeas avanzan en la cavidad bucal, capturan la presa y la arrastran hacia atrás. Este es, dicen los investigadores, el primer caso descrito de un vertebrado que usa su segundo grupo de mandíbulas para ambas tareas: atrapar y transportar a la presa, y es la única alternativa conocida al transporte hidráulico de la presa reportado en la mayoría de peces óseos - una de las principales innovaciones que podrían haber contribuido al éxito de las morenas como depredadores.

La mecánica de las mandíbulas faríngeas de las morenas son una reminiscencia de los mecanismos de trinquete utilizado por las serpientes -criaturas también largas, delgadas y altamente depredadoras. Este es un ejemplo de convergencia, un fenómeno evolucionista en el que criaturas lejanamente relacionadas desarrollan soluciones similares a problemas comunes.

Este estudio demuestra la naturaleza contingente de la evolución, como un proceso que no tiene el lujo de "diseñar desde cero".

Referencias

- Mehta, R. S. & Wainwright, P. C. *Nature* 449, 79–82

(2007).

Recursos adicionales

- Westneat, M. W. *Nature* 449, 33–34 (2007).

Webs de los autores

- Rita Mehta:

<http://www.eve.ucdavis.edu/~wainwrightlab/rsmehta/index.html>

- Peter Wainwright:

<http://www.eve.ucdavis.edu/~wainwrightlab>

➤ 12. Los pinzones de las Galápagos

Cuando Charles Darwin visitó las islas Galápagos, registró la presencia de varias especies de pinzones que lucían muy similares, a excepción de sus picos. Los pinzones de tierra tienen un pico ancho y profundo, los pinzones de cactus lo tienen largo y puntiagudo, y los pinzones curruca tienen un pico delgado y puntiagudo, lo que refleja las diferencias en sus respectivas dietas. Darwin especuló que todos los pinzones tuvieron un ancestro común que habían emigrado a las islas. Los familiares más cercanos de los pinzones de las Galápagos son conocidos en la parte continental de América del Sur, y en el caso de Darwin, los pinzones se han convertido en el clásico ejemplo de cómo la selección natural ha llevado a la evolución de una variedad de formas adaptadas a diferentes nichos ecológicos de una especie ancestral común – hecho llamado "radiación adaptativa". Esta idea ha sido reforzada por datos que muestran que incluso pequeñas diferencias en la profundidad, anchura o longitud del pico puede tener consecuencias importantes en el estado físico general de las aves.

Para averiguar qué mecanismos genéticos subyacen a los cambios en la forma del pico de cada especie, en 2006 Arhat Abzhanov y sus colegas de la Universidad de Harvard, publicaron los resultados del examen de numerosos genes activos en los picos de los pollitos en desarrollo del pinzón. Los investigadores descubrieron que las diferencias en la forma coinciden con diferentes expresiones del gen de la calmodulina, una molécula implicada en el calcio señalada como vital para muchos aspectos del desarrollo y el metabolismo. La calmodulina se expresa con más fuerza en el pico largo y puntiagudo de los pinzones de cactus que en los picos más sólidos de las otras especies. Aumentando artificialmente la expresión de la calmodulina en los tejidos embrionarios que alargan el pico, se causa una elongación del pico superior, similar a la observada en los pinzones de cactus. Los resultados muestran que al menos algunas de las variaciones de la forma del pico en los pinzones de Darwin se debe relacionar a la variación en la actividad de la calmodulina, e implica más generalmente a la calmodulina en el desarrollo de las estructuras esqueléti-

cas craneofaciales.

El estudio muestra cómo los biólogos están más allá de la mera documentación de los cambios evolutivos para identificar los mecanismos moleculares subyacentes.

Referencias

- Abzhanov, A. *et al.* *Nature* 442, 563–567 (2006).

Webs de los autores

- Clifford Tabin:

<http://www.hms.harvard.edu/dms/bbs/fac/tabin.html>

- Peter Grant:

http://www.eeb.princeton.edu/FACULTY/Grant_P/grantPeter.html

➤ 13. Encuentro entre micro y macro evolución

Darwin concibió el cambio evolutivo como un suceso de pasos infinitesimalmente pequeños. Llamó a estos "gradaciones insensibles", que si se extrapolan a lo largo de extensos períodos de tiempo, darían lugar a cambios de forma y función al por mayor. Existe una montaña de evidencia de estos cambios pequeños, llamados microevolución -la evolución de la resistencia a los medicamentos, por ejemplo, es sólo uno de los muchos ejemplos documentados.

Podemos inferir de los registros fósiles que también existen cambios desde las especies más grandes, o cambios de especies, lo que se conoce como macroevolución, pero que son naturalmente más difíciles de observar en acción. Dicho esto, los mecanismos de la macroevolución pueden verse aquí y ahora, en la arquitectura de los genes. A veces los genes implicados en el día a día la vida de los organismos están conectados a, o incluso son, los que rigen las principales características de la forma y el desarrollo de los animales. Por eso, la evolución cotidiana puede tener grandes efectos a futuro.

En el año 2005, Sean Carroll del Instituto Médico Howard Hughes, en Chevy Chase, Maryland, y sus colegas publicaron sus observaciones de un mecanismo molecular que contribuye a la ganancia de un punto en el dibujo de las alas de las moscas macho de la especie *Drosophila biarmipes*. Los investigadores demostraron que la evolución de este lugar está conectado con las modificaciones de un elemento regulador ancestral de un gen implicado en la pigmentación.

Este elemento regulador, a lo largo del tiempo, adquirió los sitios de unión para los factores de transcripción que son antiguos componentes del desarrollo del ala. Uno de los factores de transcripción que se une específicamente al elemento regulatorio del gen amarillo está codificada por un gen fundamental para el desarrollo de toda el ala.

Esto muestra que un gen implicado en un proceso puede ser cooptado por otro, un principio que conduce al cam-

bio macroevolutivo.

Referencias

- Gompel, N., Prud'homme, B., Wittkopp, P. J., Kassner, V. A. & Carroll, S. B. *Nature* 433, 481–487 (2005).

Recursos adicionales

- Hendry, A. P. *Nature* 451, 779–780 (2008).

- Prud'homme, B. *et al.* *Nature* 440, 1050–1053 (2006).

Web del autor

- Sean Carroll:

http://www.hhmi.org/research/investigators/carroll_bio.html

➤ 14. Resistencia a las toxinas en serpientes y almejas

Los biólogos están cada vez más cerca de comprender los mecanismos moleculares que subyacen a los cambios adaptativos en la evolución. En algunas poblaciones del tritón *Taricha granulosa*, por ejemplo, los individuos acumulan el neuro-veneno tetrodotoxina en su piel, al parecer como una defensa contra las culebras (*Thamnophis sirtalis*).

Las culebras que se alimentan de los tritones que producen tetrodotoxina han desarrollado una resistencia a la toxina. En un arduo trabajo, Shana Geffeney en la Escuela de Medicina de Stanford en California y sus colegas, descubrieron el mecanismo oculto y publicaron sus hallazgos en 2005. La variación en el nivel de resistencia de las culebras al tritón puede atribuirse a los cambios moleculares que afectan a la unión de la tetrodotoxina a uno de los canales de sodio en particular.

Similares formas de resistencia a las toxinas aparecen en las almejas de caparazón blando (*Mya arenaria*) en la costa atlántica de Norte América, según lo informado por Monica Bricelj en el Instituto de Biociencias Marinas de Nueva Escocia, Canadá, y sus colegas, en la misma edición de *Nature*. Las algas que producen "mareas rojas" generan saxitoxina -la causa de la intoxicación paralizante en humanos. Las almejas están expuestas a la toxina cuando ingieren las algas. Las almejas de la zona están sujetas a recurrentes mareas rojas, y son relativamente resistentes a la toxina, que van acumulando en sus tejidos. Las almejas de zonas no afectadas por la marea roja no han desarrollado tal resistencia evolutiva.

La resistencia a la toxina en la población expuesta se correlaciona con una única mutación en el gen que codifica un canal de sodio, en un sitio ya implicado en la unión de la saxitoxina. Es probable, por tanto, que la saxitoxina actúe como un potente agente selectivo en las almejas y las conduce a la adaptación genética.

Estos dos estudios muestran cómo presiones selectivas similares pueden conducir a similares respuestas de adaptación, incluso en muy diferentes taxones.

Referencias

- Geffaney, S. L., Fujimoto, E., Brodie, E. D., Brodie, E. D. Jr, & Ruben, P. C. *Nature* 434, 759–763 (2005).
- Bricelj, V. M. *et al.* *Nature* 434, 763–767 (2005).

Recursos adicionales

- Mitchell-Olds, T. & Schmitt, J. *Nature* 441, 947–952 (2006).
- Bradshaw, H. D. & Schemske, D. W. *Nature* 426, 176–178 (2003).
- Coltman, D. W., O'Donoghue, P., Jorgenson, J. T., Hogg, J. T. Strobeck, C. & Festa-Bianchet, M. *Nature* 426, 655–658 (2003).
- Harper Jr, G. R. & Pfennig, D. W. *Nature* 451, 1103–1106 (2008).
- Ellegren, H. & Sheldon, B. *Nature* 452, 169–175 (2008).

Webs de los autores

- Shana Geffaney:
<http://wormsense.stanford.edu/people.html>
- Monica Bricelj:
http://marine.biology.dal.ca/Faculty_Members/Bricelj_Monica.php

➤ 15. Variación versus estabilidad

Las especies pueden permanecer mayoritariamente sin cambios durante millones de años, tiempo suficiente para que podamos recoger sus huellas en el registro fósil. Pero las especies también cambian, y usualmente lo hacen de manera repentina. Esto ha llevado a algunos a preguntarse si las especies -generalmente las que desarrollan a lo largo de rumbos específicos -tienen la posibilidad de cambiar repentinamente, desatando una ola de variación de otro modo oculto en tiempos de estrés ambiental -una variación en la que puede actuar la selección natural.

Esta idea de la "capacidad evolutiva" fue planteada por primera vez por Suzanne Rutherford y Susan Lindquist, en sorprendentes experimentos en moscas de la fruta. Su idea era que las proteínas clave que participan en la regu-

lación de los procesos de desarrollo son "escortadas" por una proteína denominada Hsp90 que se produce más en momentos de estrés. La proteína Hsp90 es abrumada por otros procesos y las proteínas que regula normalmente las deja correr libremente, produciendo una mezcla de la variación, que de otro modo habría permanecido oculta.

En 2003, Aviv Bergman del Colegio de Medicina Albert Einstein en Nueva York y Mark Siegel en la Universidad de Nueva York publicaron sus estudios acerca de si la capacidad evolutiva es particular de la Hsp90 o si se puede encontrar de manera más generalizada. Utilizaron simulaciones numéricas de las redes complejas de genes y datos de expresión del genoma de cepas de levadura a las que se había eliminado un solo gen. Ellos demostraron que la mayoría, y quizás todos los genes presentan variación en la reserva que se libera, sólo cuando son funcionalmente comprometidos. En otras palabras, parece que la capacidad evolutiva podría ser más amplia y más profunda que en la proteína Hsp90.

Referencias

- Bergman, A. & Siegal, M. L. *Nature* 424, 549–552 (2003).

Recursos adicionales

- Stearns, S. C. *Nature* 424, 501–504 (2003).
- Rutherford, S. L. & Lindquist, S. *Nature* 396, 336–342 (1998).

Webs de los autores

- Mark Siegal:
<http://www.nyu.edu/fas/biology/faculty/siegel/index.html>
- Aviv Bergman:
<http://www.bergmanlab.org>
- Susan Lindquist:
<http://www.wi.mit.edu/research/faculty/lindquist.html>
- Suzanne Rutherford:
<http://depts.washington.edu/mcb/facultyinfo.php?id=142>
- Stephen Stearns:
<http://www.yale.edu/eeb/stearns>