

**TENGO UNA PREGUNTA...
¡Y QUIZÁ TAMBIÉN LA RESPUESTA!**

**UN LIBRO SOBRE
EVOLUCIÓN**

**TENGO UNA PREGUNTA...
¡Y QUIZÁ TAMBIÉN LA RESPUESTA!**

**UN LIBRO SOBRE
EVOLUCIÓN**

Autores

Rita Campos (Editora) . Brian Urbano Alonso . Álvaro Chaos Cador . Gonçalo Espregueira Themudo . Paula F. Campos . Rui Faria . Luis Medrano González . Víctor Rogelio Hernández Marroquín . Leonardo de Oliveira Martins . Emiliano Rodríguez Mega . José Melo-Ferreira . Alejandra Valero Méndez . Juan Carlos Zavala Olalde . Ricardo J. Pereira . Ângela M. Ribeiro . Sara Rocha . Rodolfo Salas Lizana . Alicia Mastretta Yanes

Carlos Abegão . David Afonso . Belen Palmira Ibarra Aguilar . Raquel Dias Andrade . Ana Rita Salgado Artur . Paola Balzaretta Cabrera . David Omar Arellano Contla . Mariana Costa . Susana Cunha . Joana Dias . Rita Dinis . Pedro Gonçalves Faria . Rita Fonseca . Sebastião Quelhas Freire . Manuel Ramirez Garcia . Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez . Mara Filipa Oliveira Gorito . Daniel João Henriques . Patricio Navarro Hermsillo . Andreia Pinto Machado . Eduarda Sá Marta . Luis David Trevino Olvera . Tamara Osuna . Andreia Soares Parafita . João Ramalhão . Carolina Ramos . Gonçalo Mendes Rodrigues . Paula Bautista Salas . Giancarlo Roldan Salas . Gabriela Moreira dos Santos . Catarina Saraiva . João Pedro Alves Silva . Regina Pereda Sparrowe . Mariana Valente e Torres . Carolina Borja Valarde . Ana Luísa Vaz . Luis Alfonso Hernández Vázquez . Marlene Veiga . Joana Vila . Valeria Incapie Zendejas

Este libro se distribuye de forma gratuita. Para más información ver el blog “Um livro sobre evolução” (<http://umlivrosobreevolucão.blogspot.com>) o escriba a ritacampos@cibio.up.pt.

Edición simultánea en portugués y español, desde textos originales en los dos idiomas.

Traducción: Rita Campos y Rodolfo Salas Lizana (con el apoyo de Rogelio Rodríguez Flores, Facultad de Ciencias, UNAM)

Design: Joana Monteiro

ISBN: 978-989-97418-9-8

Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO)
de la Universidad de Porto

Museo de Ciencia de la Universidad de Coimbra

Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

©2013

Cita sugerida: Campos R (ed.) et al. (2013). Un libro sobre evolución. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.



MUSEU DA CIÊNCIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



eseb

NOTA INTRODUCTORIA

Este libro nació de una propuesta enviada con éxito al Fondo para la Divulgación de la Teoría de la Evolución de la Sociedad Europea de Biología Evolutiva (*Outreach Fund, European Society for Evolutionary Biology - ESEB*; <http://www.eseb.org/>). La base de la propuesta fue el hecho de que la Teoría de la Evolución ha perdido espacio en los currículos de la enseñanza básica portuguesa lo que, aliado a una relativa escasez de materiales educativos sobre evolución, impide una comprensión correcta de sus principios. Así, de la asociación entre un centro de investigación, el Centro de Investigación en Biodiversidad y Biología Evolutiva de la Universidad de Porto, de la Red de Investigación en Biodiversidad y Biología Evolutiva (CIBIO/InBIO, Laboratorio Asociado) y un centro de ciencia, el Museo de Ciencias de la Universidad de Coimbra, surgió la idea de producir un libro que partiera del propio interés de su público blanco: la población de estudiantes. Ese objetivo sería alcanzado abriendo un concurso que desafiara a los niños y jóvenes que acuden a escuelas pre-universitarias a hacer preguntas relacionadas con la evolución biológica e intentar darles una respuesta. Las dos instituciones portuguesas se aliaron a su vez con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), lo que permitió extender el concurso para los alumnos mexicanos. En total, se recibieron 119 participaciones que fueron evaluadas por seis biólogos evolutivos; quienes seleccionaron 40 para integrar el libro.

El libro está organizado en cuatro partes. En la parte I se presenta el resultado del concurso con la forma de preguntas y respuestas de la autoría de los alumnos seleccionados y un texto escrito por un biólogo evolutivo que pretende complementar, y en algunos casos corregir, las respuestas dadas por los alumnos. Sin embargo, queremos hacer notar que no fue posible corregir individualmente los errores detectados en los textos de los alumnos, por lo que aconsejamos que su lectura sea de una manera ponderada y comparativa con las respuestas dadas por los biólogos y las correcciones de los conceptos erróneos más comunes, enlistados en la parte II de este libro. Los textos están ordenados en 26 capítulos. Como algunos de los textos seleccionados trataban del mismo problema, se optó por agrupar las preguntas (y sus respectivas respuestas) con un solo texto complementario, escrito por uno de los biólogos. Esta parte se inicia con las consideraciones generales sobre qué es la Teoría de la Evolución, cuáles son las principales fuentes de la variación genética y mecanismos evolutivos (capítulos 1 a 4). En el capítulo 5 se habla un poco de la historia y del conocimiento hipotético que Mendel, el monje que describió los principios básicos de la herencia y por eso es conocido como el “padre” de la genética, y Darwin tendrían sobre sus respectivos trabajos. En los capítulos siguientes

se describen tres mecanismos evolutivos ejemplificando cómo actúan en especies que nos son familiares (capítulos 6 a 8). Los capítulos 9 y 10 abordan dos aspectos fascinantes de la evolución: la existencia de especies muy parecidas a pesar de ser muy distantes evolutivamente y habitar regiones alejadas; así como la evolución de especies con interacciones tan estrechas que la evolución de una está ligada con la de la otra. En el capítulo 11 se describen las hipótesis más recientes sobre la evolución del vuelo, con especial énfasis en los grupos de aves y mamíferos (murciélagos). El vuelo se aborda también en el capítulo 12, pero más como una excusa para hablar de la existencia de estructuras que comparten el mismo origen o apariencia básica pero que desempeñan funciones muy diferentes. En los siguientes cinco capítulos se describe la evolución de algunas especies conocidas: los cocodrilos, las anguilas eléctricas, los insectos, los caballos y las ballenas (capítulos 13 a 17) y uno donde se discute la existencia de especies que mantienen una morfología aparentemente igual durante miles de años y que son equivocadamente llamadas “fósiles vivientes” (capítulo 18). Del capítulo 19 al 24 se habla de la evolución de los humanos, desde los primeros homínidos hasta ejemplos de evolución humana reciente, pasando por la evolución del bipedalismo, la inteligencia y algunas características morfológicas, como la forma de los ojos y la formación de arrugas en los dedos mojados. Una de las aplicaciones más fascinantes de la Teoría de la Evolución es abordada en el capítulo 25 y en el 26 se explica la diferencia fundamental entre una teoría científica y una ideología política o social y cómo esta diferencia es importante en la separación de los principios de la selección natural de la corriente que defiende la eugenesia como base para un “mejoramiento” de los seres humanos (es importante recalcar que el uso de los principios básicos de la Teoría de la Evolución en el área de las ciencias sociales no lleva necesariamente a consecuencias tan nefastas como la eugenesia; por el contrario, en los últimos años ha aumentado el número de estudios aplicados; como los que aborda la Psicología Evolutiva). Las partes II y III comprenden una lista de errores comunes sobre la Teoría de la Evolución y sus respectivas correcciones; así como un glosario de los términos usados en las correcciones y a lo largo del libro. Con la excepción de cuatro conceptos erróneos, identificados por la profesora Paula Paiva y corregidos en el ámbito de este libro, estas partes son una traducción del material disponible en el sitio del proyecto *Understanding Evolution* (<http://evolution.berkeley.edu>). El libro termina con una lista de las fuentes bibliográficas consultadas y/o sugeridas por los diferentes autores (parte IV).

Finalmente, resta agradecer a todos los alumnos y sus respectivos profesores o tutores que respondieron al desafío y concursaron con preguntas y respuestas muy interesantes, con un agradecimiento especial a las profesoras y tutoras de los alumnos vencedores: Prof. Carminda Maria de Castro

Teixeira da Costa, del grupo de Escuelas Frei Bartolomeu dos Mártires, Prof. Ana Alexandra Costa Rebelo Nogueira Almeida, de la Escuela EB - 2,3 de Agrela, Prof. Iolanda Marisa Carvalho Martins Ribeiro da Silva, de la Escuela EB 2,3/S Miguel Torga, Prof. Paula Ferreira y Prof. Paula Reis, de la Escuela Secundaria Infanta D. Maria, Prof. Ana Gonçalves, del grupo de Escuelas Padre Benjamim Salgado, Prof. Marisa Mota, del grupo de Escuelas de Mogadouro, Prof. Rita Gabriela Monteiro da Rocha, del Colegio Luso Francês, Prof. Elizabeth Woodhouse Aguilar, del Colegio Marymount, Claudia Salas Lizana y Orquídea Maria Teixeira Dias Andrade. Este agradecimiento es extensivo a los biólogos evolutivos que integraron el jurado responsable de evaluar y seleccionar los textos recibidos: José Melo-Ferreira y Rui Faria, del CIBIO/InBIO, Universidad de Porto; Paula F. Campos, del Centro de GeoGenética, Museo de Historia Natural de Dinamarca, Universidad de Copenhague; y Rodolfo Salas Lizana y Rogelio Rodríguez Flores, de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Un agradecimiento a Rodolfo Salas Lizana por la ayuda en la revisión de esta edición. Por último, se agradece el apoyo financiero de la ESEB, del Programa Operacional Potencial Humano-Marco Estratégico de Referencia Nacional del Fondo Social Europeo y Ministerio de la Educación y Ciencia de Portugal (Fundación para la Ciencia y la Tecnología; becas de posdoctorado SFRH/BPD/64365/2009 a Rita Campos, SFRH/BPD/43264/2008 a José Melo-Ferreira, SFRH/BPD/73115/2010 a Sara Rocha, y SFRH/BPD/89313/2012 a Rui Faria; beca PTDC/BIA-BIC/4177/2012, en el ámbito del proyecto FCOMP-01-0124-FEDER-028307, a Gonçalo Espregueira Themudo) y del Consejo Europeo de Investigación (ERC-2007-Stg 203161-PHYGENOM a Leonardo de Oliveira Martins).

CIBIO/InBIO, Noviembre 2013
Rita Campos

ÍNDICE

PARTE I: 40 PREGUNTAS Y SUS RESPUESTAS

CAPÍTULO 1: Definición de la evolución

Paola Balzaretta Cabrera: ¿Qué es la evolución biológica?	16
Regina Pereda Sparrowe: ¿Qué es la evolución?	16
Álvaro Chaos Cador	17

CAPÍTULO 2: La naturaleza de la evolución

Sebastião Quelhas Freire: ¿La evolución es un proceso aleatorio?	19
Víctor Rogelio Hernández Marroquín	20

CAPÍTULO 3: La aceptación de la evolución

Mariana Costa: ¿Cómo es posible no aceptar la evolución?	22
Leonardo de Oliveira Martins	24

CAPÍTULO 4: Origen de la variabilidad genética

Raquel Dias Andrade: ¿Cuáles son los factores principales que permiten la variabilidad genética?	27
Andreia Pinto Machado: ¿Cuál es la relación que hay entre la mutación genética y la selección natural en la evolución de los organismos?	29
Mara Filipa Oliveira Gorito: ¿Cuál es la relación entre las mutaciones y la selección natural en la evolución de los seres vivos?	31
José Melo-Ferreira	33

CAPÍTULO 5: Una carta hipotética de Mendel a Darwin

Marlene Veiga: La carta... ¿mito o realidad?	35
Rodolfo Salas Lizana	38

CAPÍTULO 6: La evolución por selección natural

Joana Dias: ¿Cómo surgió toda la diversidad presente en la naturaleza?	40
Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez: ¿Qué es la selección natural?	42

Manuel Ramirez Garcia: Si solo dos individuos de una especie tuvieran cierta adaptación que les permite sobrevivir, ¿toda la especie podría sobrevivir?	42
Alicia Mastretta Yanes	43
CAPÍTULO 7: La evolución por selección sexual	
Rita Dinis: ¿Cuál es la teoría más atrevida sobre la evolución de las especies?	45
Belen Palmira Ibarra Aguilar: ¿En qué ayuda a los pavorreales tener plumas de color llamativas?	47
Gonçalo Mendes Rodrigues: ¿Por qué motivo solo los venados (<i>Cervus elaphus</i>) machos tienen astas?	47
Alejandra Valero Méndez	48
CAPÍTULO 8: La evolución por selección artificial	
Carlos Abegão: ¿Por qué los perros y los lobos tienen comportamientos tan diferentes si su genética es tan parecida?	50
José Melo-Ferreira	52
CAPÍTULO 9: La evolución convergente	
Susana Cunha: ¿Están relacionados los osos hormigueros africanos y los osos hormigueros gigantes?	54
Ricardo J. Pereira	55
CAPÍTULO 10: Coevolución	
David Omar Arellano Contla: ¿Qué es la coevolución?	57
Sara Rocha	57
CAPÍTULO 11: Evolución del vuelo	
João Pedro Alves Silva: ¿Cómo es posible que un animal que vive en tierra comience a volar?	59
Rita Fonseca: ¿Las gallinas fueron dinosaurios antes?	61
Gonçalo Espregueira Themudo	63
CAPÍTULO 12: Evolución de las aves que no vuelan	
Ana Rita Salgado Artur: Los pingüinos son aves marinas que no vuelan, ¿por qué?	65
Ricardo J. Pereira	66

CAPÍTULO 13: Evolución de los cocodrilos	
Valeria Incapie Zendejas: ¿Qué cambió entre los cocodrilos prehistóricos y los actuales?	67
Sara Rocha	68
CAPÍTULO 14: Evolución de las anguilas eléctricas	
Eduarda Sá Marta: ¿Cómo es que las anguilas eléctricas evolucionaron en el sentido de producir cargas eléctricas tan elevadas?	70
Brian Urbano Alonso	72
CAPÍTULO 15: Evolución de los insectos	
Luis David Trevino Olvera: ¿Por qué disminuyeron de tamaño los insectos?	73
Ângela M. Ribeiro	74
CAPÍTULO 16: Evolución del caballo	
Carolina Borja Valarde: ¿Cómo nos damos cuenta de que los caballos evolucionaron?	77
Rita Campos	77
CAPÍTULO 17: Evolución de las ballenas	
Mariana Valente e Torres: ¿De dónde vienen las ballenas?	80
Emiliano Rodríguez Mega	81
CAPÍTULO 18: Fósiles «vivientes»	
Gabriela Moreira dos Santos: ¿Será que todos los seres vivos evolucionan?	82
Rita Campos	84
CAPÍTULO 19: Relaciones evolutivas entre humanos y chimpancés	
Ana Luisa Vaz: ¿Por qué los humanos son tan parecidos a los chimpancés?	86
Giancarlo Roldan Salas: ¿Descendemos del chimpancé?	87
Pedro Gonçalves Faria: Si nosotros evolucionamos de los monos, ¿por qué aún hay monos? ¿No debieron haber sido eliminados por la selección natural?	88
Rita Campos	89

CAPÍTULO 20: Evolución del bipedismo	
Paula Bautista Salas: ¿Por qué los seres humanos desarrollaron una forma de movimiento bípeda?	91
Carolina Ramos: ¿Por qué los humanos son bípedos?	92
Juan Carlos Zavala Olalde	93
CAPÍTULO 21: Evolución de la forma de los ojos	
Catarina Saraiva: ¿Por qué los asiáticos tienen los ojos rasgados?	95
Paula F. Campos	97
CAPÍTULO 22: Evolución de las arrugas de los dedos	
Andreia Soares Parafita: ¿Por qué los dedos se arrugan en el agua?	98
Rita Campos	100
CAPÍTULO 23: Orígenes y consecuencias de la inteligencia humana	
Tamara Osuna: ¿Por qué los humanos desarrollaron un cerebro más grande que los chimpancés?	101
Luis Alfonso Hernández Vázquez: ¿Por qué el Hombre tiene una capacidad de raciocinio mayor que la de otros animales?	102
João Ramalhão: ¿Será la esquizofrenia el precio del surgimiento del lenguaje humano?	103
Luis Medrano González	104
CAPÍTULO 24: Evolución humana reciente	
Daniel João Henriques: ¿Estará el Hombre aún sujeto a las leyes de la evolución?	107
Patricio Navarro Hermosillo: ¿Por qué los humanos no evolucionaron?	109
Álvaro Chaos Cador	110
CAPÍTULO 25: Medicina evolutiva	
Joana Vila: Después de 50 años sin ella, la tuberculosis reaparece... ¿cómo explicaría Darwin tal acontecimiento?	112
Rita Campos	114
CAPÍTULO 26: Darwinismo social	
David Afonso: ¿El darwinismo es el padre del nazismo o no?	116
Rui Faria	117

PARTE II: CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA EVOLUCIÓN

1. Conceptos erróneos sobre la teoría de la evolución y los procesos evolutivos	
La evolución es una teoría sobre el origen de la vida	123
La teoría evolutiva implica que la vida ha evolucionado (y sigue evolucionando) de forma aleatoria o al azar	123
La evolución implica progreso; los organismos están en constante mejora a través de la evolución	123
Los organismos pueden evolucionar en el transcurso de su vida	124
La evolución sólo se produce lenta y gradualmente	125
Ya que la evolución es lenta, los seres humanos no la pueden influenciar	126
La deriva genética ocurre solamente en poblaciones pequeñas	126
Los seres humanos no están evolucionando	127
Las especies son entidades naturales distintas, con una definición clara y son fácilmente distinguibles por cualquier persona	127
2. Conceptos erróneos sobre la selección natural y la adaptación	
La selección natural implica que los organismos tratan de adaptarse	128
La selección natural da a los organismos lo que necesitan	128
Los seres humanos no tienen un impacto negativo en los ecosistemas porque las especies simplemente evolucionarán lo que necesiten para sobrevivir	129
La selección natural actúa para beneficiar a la especie	129
En una población, los organismos con mejor eficacia son los más fuertes, más sanos, más rápidos y/o más grandes	130
En la evolución por selección natural sólo sobreviven los individuos con la mayor eficacia	131
La selección natural produce organismos adaptados perfectamente a su ambiente	131
Todas las características de un organismo son adaptaciones	131

3. Conceptos erróneos sobre los árboles evolutivos	
Los taxones adyacentes en las puntas de las ramas de una filogenia están más relacionados entre sí que con cualquier otro taxón en puntas más lejanas	132
Los taxones que aparecen cerca de la parte superior o a la derecha de la filogenia son más avanzados que los otros organismos del árbol	133
Los taxones que aparecen en la parte inferior o del lado izquierdo de la filogenia representan a los antepasados de las otras especies en el árbol	134
Los taxones que aparecen cerca de la base o en el lado izquierdo de la filogenia evolucionaron (o "aparecieron") antes que los otros taxones del árbol	135
En una filogenia, una rama larga indica que el taxón ha cambiado poco desde que se separó de los otros	136
4. Conceptos erróneos sobre genética de poblaciones	
Cada característica está determinada por un <i>locus</i> Mendeliano	138
Cada <i>locus</i> tiene sólo dos alelos	138
5. Conceptos equivocados sobre la teoría de la evolución y la naturaleza de la ciencia	
La evolución no es ciencia porque no puede ser observada o puesta a prueba experimentalmente	139
La evolución es "sólo una teoría"	139
La teoría de la evolución no es válida porque está incompleta y no puede dar una explicación absoluta para la biodiversidad que nos rodea	139
Los huecos en el registro fósil refutan a la evolución	140
6. Conceptos erróneos sobre la aceptación de la evolución	
La teoría de la evolución tiene defectos, pero los científicos no lo admiten	141
La evolución es una teoría en crisis y se está derrumbando al mismo tiempo que los científicos pierden su confianza en ella	141
La mayoría de los biólogos han rechazado el darwinismo y ya no están de acuerdo con las ideas desarrolladas por Darwin y Wallace	141

7. Conceptos erróneos sobre las implicaciones de la evolución	
La teoría de la evolución conduce a un comportamiento inmoral	142
La evolución es compatible con la idea de que "el poder tiene la razón " (la expresión en Inglés es " <i>might makes right</i> ") y justifica la opresión que algunas personas ejercen sobre los demás	142
Si se enseña a los estudiantes que son animales, se comportarán como animales	143
8. Conceptos erróneos sobre evolución y religión	
La teoría de la evolución y la religión son incompatibles	144
9. Conceptos erróneos sobre la enseñanza de la evolución	
Los profesores deben enseñar "ambos lados" (evolucionismo y creacionismo) dedicando el mismo tiempo y dejar que los estudiantes "decidan" con cuál explicación se quedan	144
La teoría de la evolución es en sí religiosa y, por lo tanto, pedir a los profesores que enseñen evolución es dar prioridad a una religión sobre las otras, violando la libertad de expresión (en el original: viola la primera enmienda)	145
10. Otros conceptos erróneos sobre evolución	
Los seres vivos se adaptan a las condiciones ambientales	146
Los órganos vestigiales de algunas especies son órganos atrofiados	146
Desde un mismo ancestro, la divergencia entre los individuos que colonizan diferentes hábitats se debe a las diferencias pre-existentes entre los individuos	146
Cualquier interferencia de los humanos sobre otros seres vivos da como resultado selección artificial	147
PARTE III: CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA EVOLUCIÓN - GLOSARIO	151
PARTE IV: REFERENCIAS Y SUGERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	156

PARTE I

40 PREGUNTAS Y

SUS RESPUESTAS

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DE LA EVOLUCIÓN

¿Qué es la evolución biológica?

Por Paola Balzaretta Cabrera, 7º grado, Colegio Marymount

La evolución biológica son cambios que se forman a través de mucho tiempo. La evolución fue comprobada al ver fósiles y compararlos con las especies existentes. Algunos principios de la evolución son: la evolución es más rápida en unos momentos que en otros, algunas especies evolucionan más rápido que otras, las especies que acaban de formarse no nacen evolucionadas sino nacen sencillas y débiles. La evolución puede ser para lo mejor pero también puede ser para lo peor. La evolución le ocurre a un grupo no a uno solo. Según Charles Darwin la evolución se hace por algunas razones precisas. Por ejemplo la probabilidad de evolución es igual en los animales que en las plantas. De cualquier especie nacen más individuos de los que pueden obtener su alimento por lo cual luchan para ver quien sobrevive y solo los más aptos lo logran. Los más adaptados van a tener poder sobre los menos adaptados. Los que sobreviven o sea los más adaptados transmiten sus ventajas a la siguiente generación.

¿Qué es la evolución?

Por Regina Pereda Sparrowe, 7º grado, Colegio Marymount

La evolución es el conjunto de transformaciones o cambios a través del tiempo. La palabra evolución fue aplicada por primera vez en el siglo XVIII por el biólogo suizo Charles Bonnet. El concepto de que la vida en la Tierra evolucionó ya había sido formulado por varios filósofos griegos. En 1859 Darwin sintetizó la evolución biológica en una verdadera teoría científica. En el siglo XIX Jean-Baptiste (caballero de Lamarck) mostró su teoría de la transmutación de las especies, que fue la primera teoría científica. En 1858 Charles Darwin y Alfred Russel publicaron una nueva teoría evolutiva.

El viaje.

De 1831-1836, el HSM Beagle recorrió las costas de América del Sur y los archipiélagos del océano Pacífico. Darwin se basó en sus observaciones para escribir sus obras. Antes que Darwin, el biólogo francés Lamarck ya había propuesto la teoría de la evolución. La teoría de Lamarck consistía en que los organismos se adaptan al medio ambiente de tal manera que un órgano que se emplee con frecuencia se verá mejorado, de lo contrario, un órgano en desuso se atrofiará y se eliminará.

Las mutaciones provocan que dentro de una especie haya la variabilidad suficiente para que tenga lugar la selección natural. Una mutación es un cambio aleatorio en la estructura química del ADN, que puede provocar desde cambios insignificantes hasta variaciones radicales, tanto beneficiosas como perjudiciales.

Por Álvaro Chaos Cador

Facultad de Ciencias y Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

La palabra evolución puede significar varias cosas. Si la definición se relaciona con los cambios que acontecen en las poblaciones de los organismos vivos, lo correcto es usar la acepción de evolución biológica. Para definir dicho término, no se necesita saber que Lamarck fue el primer naturalista que propuso una teoría evolutiva, tampoco que Darwin visitó Sudamérica en un viaje de investigación, y menos que las mutaciones son la materia prima de la selección natural. Todo eso es irrelevante.

Analicemos sus contestaciones. Ambas dicen que son los cambios que se forman a través de mucho tiempo. Eso es sumamente impreciso. ¿A cuáles cambios se refieren? ¿En dónde ocurren estos cambios? ¿Cuánto tiempo es mucho tiempo? Revisemos por partes sus definiciones. Empecemos por saber cuáles son los cambios que cuentan. Las características que poseen los seres vivos son de dos tipos: las heredadas y las adquiridas durante la vida. Un león tiene una gran melena; al igual que su padre y su abuelo, la heredó de sus antepasados. Esa característica es heredable. En cambio, si el felino sufre un arañazo y se queda con una cicatriz en el hocico, la cicatriz no la heredó de sus padres. Él heredará a sus hijos la melena, aunque no la cicatriz. Las características importantes en la evolución biológica sólo son aquellas transmitidas de padres a hijos.

Una población es un grupo compuesto por varios individuos de la misma especie que se reproducen entre sí. Hay poblaciones enormes, formadas por millones de individuos, otras son pequeñas, apenas cuentan con decenas de ellos o menos. Aunque los individuos de una población sean de la misma especie, no son exactamente iguales. Existen variaciones entre

ellos. Es sencillo percatarse de eso. En una sala de cine, no todas las personas tienen la misma estatura, ni el mismo color de cabello. Las poblaciones naturales también varían. Veamos un ejemplo famosísimo sobre el color de unos lepidópteros.

Hace tiempo, había una población de polillas, cuyo nombre científico es *Biston betularia*. La mayoría de ellas eran de color gris claro. Vivían en un bosque cuyos árboles estaban cubiertos por un líquen de ese mismo color. Muchas generaciones de esas polillas vivieron en ese bosque. De cuando en cuando, nacían polillas de color gris oscuro, pero no vivían mucho porque sus depredadores las detectaban rápidamente. Como eran oscuras resaltaban sobre el tronco claro y los pájaros las veían fácilmente y las atrapaban. No podían camuflarse como hacían sus hermanas claras. Cuando las ciudades cercanas empezaron a quemar carbón para generar electricidad, el hollín que arrojaban, proveniente de la combustión, se asentó en los troncos de los árboles oscureciéndolos y matando al líquen. Poco a poco, el bosque fue tornándose oscuro. Al mismo tiempo, las polillas que nacían oscuras tenían menos probabilidades de ser detectadas porque se podían posar sobre las zonas oscuras de los troncos. Ahora sí se podían confundir. Gracias a esa alteración, aumentaron en número generación tras generación. Hoy en día, ya no hay líquenes sobre las cortezas de los árboles. El bosque es oscuro. La población de polillas sigue viviendo allí, pero la mayoría son oscuras porque las claras son las que viven poco al ser detectadas fácilmente por los pájaros. El color de la mayoría de las polillas de la población original era claro, hoy es al revés, la mayoría son oscuras. La población cambió. Eso es la evolución biológica.

¿Cuánto tiempo hay que esperar para que la evolución biológica ocurra? Podemos deducir eso de la respuesta anterior. Si lo que evoluciona son las poblaciones, entonces deberemos de esperar el tiempo necesario para que se cree una generación nueva. ¿Eso es mucho tiempo? Pues depende. Hay criaturas que tardan años en producir otra generación, como las tortugas o los elefantes. Otros las hacen velozmente, los ratones y muchos insectos caen dentro de esta categoría. Normalmente, entre más pequeño sea el organismo, más deprisa hará una generación nueva. Las bacterias pueden hacer una generación nueva en minutos. Las ballenas tardan muchos años.

Aclarados los puntos anteriores, concluimos que la evolución biológica es el cambio que ocurre en las proporciones de los caracteres heredables de los individuos dentro de una población a lo largo de sus generaciones. Darwin la definió como «descendencia con modificación».

Para finalizar, es importante corregir las ideas falsas que escribieron en sus respuestas. La evolución biológica no se comprobó con los fósiles. Los fósiles sólo prueban la presencia de organismos de cierta forma en diferentes períodos de la Tierra. La única manera para comprobar la evolución biológica es verla o registrarla directamente, eso se puede hacer estudiando las poblaciones de organismos con tiempos de generación cortos en donde se aprecia cómo van cambiando sus poblaciones. Las razas de plantas y de animales creadas por el Hombre también la comprueban, porque se pueden comparar poblaciones viejas con recientes debido a los datos que hay. Las especies recién formadas no nacen más débiles, ni más sencillas que las anteriores. Al contrario, generalmente son más complicadas, y según Darwin, son más fuertes. No se puede decir que la evolución biológica sea para algo, simplemente es un proceso que ocurre en la naturaleza. Nada más. La evolución biológica no tiene un fin o una meta.

Darwin nunca dijo que la evolución tuviera unas razones precisas. Él no habla de probabilidades de evolucionar. Al contrario, mencionó que desconocemos muchísimos componentes del proceso. Lo que propuso es que la selección natural es la manera por la cual se adaptan los seres vivos. No hay teorías científicas verdaderas. Hay teorías científicas que son más fuertes que otras porque están mejor sustentadas, pero no por eso son verdaderas.

CAPÍTULO 2: LA NATURALEZA DE LA EVOLUCIÓN

¿La evolución es un proceso aleatorio?

Por Sebastião Quelhas Freire, 11º grado, Escuela Secundaria Infanta D. Maria

De una manera sucinta, no.

Si bien es innegable la enorme importancia del azar en el proceso evolutivo, éste no es totalmente responsable de la evolución. A decir verdad, la evolución puede dividirse en dos procesos: i) las mutaciones y la recombinación genética; ii) la selección natural

Las mutaciones, así como la recombinación genética (el *crossing-over* en la meiosis y la fecundación) ocurren de manera natural y aleatoria en los seres vivos. Una mutación es un cambio en la secuencia de nucleótidos que ocurre debido a las fallas en la replicación de las moléculas de ADN durante la mitosis o la meiosis. La recombinación genética está presente en la profase I de la meiosis, en el *crossing-over* (intercambio de material genético entre los cromosomas homólogos) y en la fecundación (fusión de los gametos). Estos procesos son los que posibilitan la variación genética y, en ambos, el azar tiene un papel fundamental.

La evolución, sin embargo, no se trata solamente de mutaciones y recombinación genética. Se trata también de la selección de las características determinadas por esas mutaciones y recombinación, que vuelven al ser más

adaptado al ambiente en el que vive. Este proceso se llama selección natural. La selección natural es no aleatoria totalmente. Seguramente ya se habrá oído la expresión “Sobrevivencia del más apto”, y ahora se sabrá que este es el lema de la selección natural, que simplemente es un proceso cíclico de sobrevivencia y reproducción diferencial, o sea, los más aptos sobreviven en mayor número y, por consecuencia, se reproducen en mayor número, habiendo, a lo largo de las generaciones, una acumulación de las características en la población que podrá formar una nueva especie. La selección no es aleatoria sino relativa porque el concepto de “más apto” varía de ambiente en ambiente; es decir, un ser más apto en un ambiente dado puede no serlo en otro diferente. Así, es el ambiente el que condiciona la evolución, y es él quien selecciona a los individuos por estar mejor adaptados para hacer lo que hacen en el ambiente en que se encuentran. Es él quien gobierna a la selección natural. Los seres vivos son tal como son hoy y están tan adaptados a hacer aquello que hacen, pues las presiones selectivas sufridas por sus antepasados permitieron la sobrevivencia únicamente de aquellos que, en aquel ambiente, eran más aptos.

Concluyo con una cita de Richard Dawkins, biólogo evolucionista que, cuando fue consultado con la misma pregunta dijo: “Eso es ridículo. La mutación es aleatoria en la medida en que no se puede anticipar aquello que es necesario. La selección natural es todo menos aleatoria. Es un proceso guiado (...) por los genes que sobreviven y por los que no sobreviven. (...) es debido a este proceso no aleatorio que los leones son tan buenos para cazar y los antílopes tan buenos para huir de los leones”.

Por Víctor Rogelio Hernández Marroquín

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

La evolución no es un fenómeno aleatorio, en el sentido de que mañana podrías despertarte siendo un escarabajo o de que tus hijos súbitamente tendrán alas; pero espero poder convencerte de que la evolución tampoco está completamente dirigida. Conforme más a fondo estudiamos los fenómenos importantes para la evolución, más nos damos cuenta de que el azar puede influir en muchos de ellos.

Comencemos con la acertada división de procesos que propones, pero hagámoslos más

generales. A la mutación y a la recombinación podemos ponerlas juntas en un proceso más amplio llamado generación de variación individual. Esta variación, definida como las diferencias entre los individuos de una misma población, puede observarse a muchos niveles diferentes, que van desde las diferencias en el ADN hasta las diferencias en los rasgos externos. Ningún par de organismos tiene genomas completamente iguales, así como tampoco tienen la misma apariencia, fisiología o, en el caso de algunos animales, comportamiento. Como bien reconoces, el azar juega un papel fundamental en la generación de variación genética, pero también se intermiscuye en otros procesos de variación individual, por ejemplo, los de desarrollo. Desde la dieta de los padres hasta las relaciones tempranas con otras especies, los estímulos externos que influyen en la formación de un embrión o en las primeras etapas de vida de un organismo son tan variados como frecuentes. Las formas en que el genoma de un individuo responderá ante esos estímulos no es completamente predecible y puede tener resultados distintos aún en situaciones similares. Para más información, pregunta a tus gemelos más cercanos. De tal forma, el hecho de que dos organismos nunca sean iguales es culpa tanto de la información genética individual como de su historia de desarrollo; y en ambos procesos el azar tiene un papel fundamental.

Pasemos ahora a la siguiente etapa del proceso evolutivo. Una vez que tenemos variación individual, entran en juego todos los factores ambientales que influyen en la supervivencia y reproducción de esos individuos. La selección natural es una consecuencia de la interacción entre los individuos y su ambiente, es verdad. Sin embargo, el azar también actúa en este nivel, aunque no lo reconozcamos de inmediato. Pensemos que, algunas veces, ni el león que caza mejor atrapa al antílope ni el antílope más veloz puede escapar al león. Las diferencias entre los individuos les permiten tener mayores o menores probabilidades de sobrevivir o reproducirse, pero no tienen asegurado nada. La selección natural es en realidad un asunto de probabilidades. Por supuesto, si eres el león con rasgos que te confieren la mayor probabilidad para reproducirte, es casi seguro que conseguirás pareja y tendrás leoncitos, y de ese modo es que, generación tras generación, la selección puede producir las complejas adaptaciones que vemos en los organismos. Sin embargo, a veces ocurre que un individuo sobrevive o se reproduce más que otros sin poseer los rasgos más adecuados para ello. Con un golpe de suerte, un antílope no demasiado veloz puede llegar a sobrevivir y a tener sus propias crías. Si estos golpes de suerte, que van contra las probabilidades, ocurren frecuentemente (como a veces pasa en grupos pequeños de organismos), estamos ante la deriva genética, un proceso evolutivo en el que el azar lleva la voz cantante. Así, de la interacción entre los individuos y su ambiente, la selección natural no es el único resultado posible. Los organismos pueden sobrevivir y reproducirse ya sea gracias a que tienen los rasgos que les confieren mayor probabilidad para ello en un ambiente dado o a pesar de no tenerlos. Selección natural y deriva genética son dos caras de un mismo fenómeno, al cual podemos llamar supervivencia y reproducción diferenciales. Lo que las hace distintas es el grado de influencia del azar. Y lo cierto es que en la historia evolutiva de cualquier especie encontraremos momentos en que la selección ocurre más que la deriva, momentos en que la deriva ocurre más que la selección y momentos en que ambas son igual de importantes.

En suma, tanto en la generación de variación individual como en la supervivencia y reproducción posteriores, el azar puede influir en la evolución de los organismos. Esto no significa que los

evolucionistas piensen que la historia de una especie es un juego de dados, como algunos fundamentalistas religiosos afirman. Significa, como bien reconoces, que el azar tiene un papel importante en el proceso. ¿Realmente qué tan grande es ese papel? Eso está actualmente a discusión.

Por lo pronto, podemos dar una respuesta a la pregunta de si la evolución es aleatoria. Desde un punto de vista general, la evolución no es aleatoria, pero realmente ningún ser vivo puede escapar al azar bajo cualquiera de sus formas. Así que no hay que descartarlo de inicio en los estudios evolutivos. De una manera sucinta, la evolución es un proceso no aleatorio, pero tiene espacio para el azar.

CAPÍTULO 3: LA ACEPTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN

.....

¿Cómo es posible no aceptar la evolución?

Por Mariana Costa, 7º grado, Escuela EB - 2,3 de Agrela

Ésta y otras preguntas como, por ejemplo, ¿cómo surgieron los seres vivos?, ¿de dónde vienen?, ¿quién dio origen a la biodiversidad que conocemos?, ¿será que siempre existieron estos seres vivos?, ya fueron hechas por la gente muchas veces. Pues bien, todos tenemos derecho a preguntar y a todos nos compete buscar la respuesta más correcta, la más verdadera y explicativa. Ahora, caeremos en las explicaciones/respuestas científicas.

Los variados y numerosos estudios realizados por los científicos nos muestran, claramente, que los seres tienen su origen los unos en los otros, por cambios sucesivos a los que fueron sujetos... ¡y hay pruebas de eso! La prueba más contundente de que los seres vivos tienen su origen en otros seres, por cambios morfológicos y fisiológicos a los que fueron sometidos a lo largo del tiempo, es el registro fósil que fue siendo encontrado y ha sido estudiado. Los fósiles son, sin que quepa duda, el elemento clave, diría científico, que comprueba la evolución de los seres vivos. Es a través de su estudio que es posible comparar las

características morfológicas y fisiológicas de un ser, como un ser más antiguo (el posible ancestro, que se encuentra en un estrato rocoso inferior) y un ser más reciente (el posible descendiente, que se encuentra en un estrato rocoso superior).

Los estudios paleontológicos nos muestran que la vida, a lo largo de millones de años, fue sufriendo cambios. Hoy sabemos, por ejemplo, que las primeras formas de vida, estromatolitos, surgieron hace 3,800 millones de años (MA) y eran seres vivos muy semejantes a las bacterias de hoy en día, seres de cuerpo suave. Más tarde aparecieron los organismos con carapacha o con concha. Con la aparición de la carapacha los seres estaban más protegidos de los depredadores y de condiciones ambientales adversas. ¡He aquí una señal evidente de la evolución de los seres vivos! Estos seres llegaron a estar “mejor” adaptados a la vida. Se convirtieron en los seres más evolucionados y con origen en los seres que ya existían. Tenemos seres marinos con este aspecto en el Cámbrico, llamados trilobites, que ya presentaban también un comportamiento, nada común para ese “tiempo de vida tan remoto”, pero que se traduce en una señal nítida de la evolución –vivían en grupo. Presentaban entonces comportamientos gregarios. En el Devónico aparecen los primeros peces y los invertebrados terrestres. El ambiente terrestre comienza a ser conquistado por alteraciones morfológicas y fisiológicas de los seres acuáticos. Los paleontólogos constataron, ya en el Carbonífero, la aparición de los primeros bosques, de los anfibios y más insectos. ¡Continuamos en la evolución! En el Triásico aparecieron los primeros mamíferos, hubo una diversificación de reptiles, incluyendo reptiles mamiferoides, pterosaurios (reptiles voladores) y dinosaurios. En el Jurásico ocurre una diversificación de las gimnospermas, con la aparición de las secuoyas y las cícadas. Dominaron los dinosaurios y aparecieron las primeras aves. En el Cretácico aparecieron las plantas angiospermas (como, por ejemplo, la magnolia). ¡Flores! He aquí un aspecto más que se traduce en un paso hacia una variedad mayor de especies vegetales. Más recientemente, en la era Cenozoica, aparecieron los mamíferos y los primeros homínidos solo hace 1.6 MA – el *Australopithecus*, que evolucionarían a *Homo habilis*, *Homo erectus*, *Homo sapiens* y *Homo sapiens sapiens*. ¿Hay una

mejor historia de la evolución de la que les presento aquí?

¡Perdónenme todos aquellos que creen en la creación de todo y de todos, hecha por un Dios, pero desconozco cualquier otra historia con evidencias tan nítidas de la evolución de la vida! Para creer en la evolución o el evolucionismo no es necesario tener fe o una creencia.

Es necesario, sí, ¡hacer ciencia! ¡Es también necesario dar a conocer los descubrimientos y conclusiones científicas a todos! Aquí, la paleontología ha dado grandes pasos en este sentido y ha revelado un área científica esencial en la comprensión y el conocimiento del pasado, del presente y del futuro de la vida.

Pero se me ocurre, sin embargo, un análisis más personal y espontáneo, y si quieren hasta intuitivo, sobre la pregunta inicial que hice: fíjense en nuestro planeta, ¡miren a su alrededor!, ¡todo está en cambio constante y es evolución!, ¡nada es estático! Si admitimos que el propio planeta es un planeta dinámico, vivo, entonces todo lo que lo constituye también posee ese dinamismo. ¡Y los seres vivos, como parte integral de él (biósfera), también resultaron, sin duda, de un proceso de evolución!

Por Leonardo de Oliveira Martins

Facultad de Biología, Universidad de Vigo

La actividad científica es escéptica por naturaleza y es guiada por el principio de la parsimonia de nunca incluir suposiciones innecesarias, de tal forma que se prefiere siempre la explicación más simple posible. Un corolario de este principio es la llamada “navaja de Hanlon”, que nos exhorta a nunca atribuir a la malicia lo que puede ser igualmente atribuido a la ignorancia. Así, debemos reconocer que parte de la resistencia en conocer el pensamiento evolutivo puede no ser solamente una negación consciente de las evidencias. Por ejemplo, cuando somos niños nuestra percepción nos hace creer que no hay nada que no tenga una causa y que todos los fenómenos tienen un “por qué”. Esa percepción nos persigue hasta la vida adulta, cuando intentamos ver relaciones de causa y consecuencia en todos los acontecimientos, aun cuando no hay una relación causal o la correlación es apenas aparente. O cuando pensamos que los cambios evolutivos tienen un objetivo como, por ejemplo, el aumento en la complejidad; y por causa de eso terminamos por clasificar a los seres vivos en “más” o “menos” evolucionados. Esas explicaciones teleológicas nos son atractivas, pero no todos los cambios evolutivos tienen una función y no surgen para alcanzar algún objetivo, ni siquiera cuando miramos la historia evolutiva de alguna característica que parece ser ventajosa en la actualidad. La teoría

de la evolución es contra intuitiva y no sólo por culpa de las religiones. El hecho de que la palabra “teoría” en ciencia tiene un significado diferente al que usamos día a día tampoco ayuda: una teoría científica es una explicación unificadora de todo un conjunto de datos, que engloba más hipótesis de algún aspecto de la naturaleza. En ciencia, una teoría no es nunca “sólo” una teoría. Esos errores los cometen tanto los profesores como los alumnos.

La evolución (y otras teorías científicas) puede ser rechazada más conscientemente debido a la inconformidad de un grupo y a la subsecuente racionalización de ese rechazo. O sea, el ambiente donde una persona fue criada impone una narrativa a la cual el individuo acaba adaptándose. Aquí, componentes religiosos y sociales tienen un papel más relevante, ya que el grupo puede imaginar que el estudio de la teoría evolutiva lleva al rechazo de Dios o a la pérdida de una directiva moral y por lo tanto el deterioro de la sociedad. Ese rechazo no puede ser atribuido simplemente a la ignorancia, pues es defendido por personas con diplomas como filósofos postmodernos y hasta los creacionistas – a pesar de que ninguno de ellos tiene formación o experiencia científica en la biología.

Por otra parte, podemos observar que a nivel internacional, países con una tasa más alta de rechazo a la evolución suelen tener dogmas religiosos más arraigados en su cultura y política; así como niveles bajos de escolaridad, formación científica y producto interno bruto (PIB). Los Estados Unidos de América son un caso aparte, dado que poseen un PIB alto y una alta formación científica. Aun así, tienen un alto rechazo a la evolución. Eso se explica cuando analizamos los datos divididos por estado, ya que donde hay más inversión en la educación (una medida mejor que el PIB) los indicadores de educación son mejores y la teoría evolutiva es más aceptada. Cabe recordar que todos esos indicadores están correlacionados y no podemos aislar sus efectos, mucho menos apuntar cuáles son las direcciones de causa y efecto.

De hecho hay una tentativa concertada de desacreditar la teoría evolutiva, enraizada en la religión, y que ofrece una explicación de la diversidad biológica llamada “creacionismo”. Pero las explicaciones científicas se restringen a las causas naturales (materiales), lo que impide que usemos variables que no podemos controlar ni medir, tales como entidades sobrenaturales (y si permitiéramos su inclusión, cualquier resultado sería posible). Esa restricción es vista por unos como una limitación del proceso científico y por otros como una suposición provisional que los científicos usan en la práctica, pero que de cualquier forma está de acuerdo con el principio de la parsimonia y elimina al creacionismo como una hipótesis científica. Recientemente, los creacionistas han intentado reducir la connotación religiosa de su teoría al cambiar al “creador” por un “diseñador” (o “proyectista”) genérico en sus explicaciones, y al crear falsos institutos de investigación.

El movimiento creacionista no es un fenómeno exclusivamente cristiano, pues es bastante común también entre los musulmanes y otros grupos. Lo que no quiere decir que la religión lleve inevitablemente al rechazo de la evolución (véase, por ejemplo, el “Proyecto Carta de los Clérigos”, sin hablar del posicionamiento de los Papas), o que el estudio de la evolución lleve al rechazo de la religión (hay varios científicos religiosos famosos, como Francis Collins, Theodosius Dobzhansky y Francisco Ayala). De hecho, como el biólogo evolutivo Francisco Ayala apunta, las explicaciones creacionistas son incompatibles con la creencia religiosa en un Dios, porque asumir que todas las imperfecciones y crueldad existentes en el reino animal

han sido planeadas es evidencia de un creador sádico. Un ejemplo serían los embarazos interrumpidos naturalmente, que afectan al 20% de todos los embarazos en humanos. Decir que un sistema reproductivo que falla tanto fue diseñado a propósito es afirmar que el creador es incompetente o practicante del aborto.

Más allá de ejemplos de caracteres no óptimos, como el de arriba, y que desafían al creacionismo, las evidencias de la evolución como un hecho son varias, de las cuales podemos citar:

1. La existencia de un único material genético (ADN o ARN) para todos los organismos, así como de un único código genético (con pequeñas variantes) que traduce el material genético en proteínas, además de la existencia de vías metabólicas comunes;

2. Una jerarquía anidada de las especies, con genes distintos produciendo jerarquías similares (llamadas filogenias) y la existencia de genes equivalentes en especies diferentes, con alta similitud;

3. Hallazgos arqueológicos que confirman las formas intermedias y cuyas dataciones geológicas coinciden con los valores previstos genéticamente;

4. La existencia de órganos vestigiales y atavismos (estructuras anatómicas que aparecen aleatoriamente en individuos de especies que ya las habían perdido, como la “cola vestigial” en humanos);

5. El desarrollo embrionario de los animales, que nos ayuda a detectar casos donde las mismas estructuras realizan funciones distintas (por ejemplo, las alas de murciélago y los brazos de los humanos) y casos en que una misma función es desempeñada por diferentes estructuras (por ejemplo, la producción de veneno):

6. La correlación entre la geografía y la filogenia de las especies, como el hecho de que los marsupiales han sido encontrados únicamente en Australia y Sudamérica, indicando que su ancestro común es anterior a la separación de los continentes. Por otro lado, no se encuentran elefantes en ninguna de esas regiones, sugiriendo que su ancestro es más reciente que esa separación continental;

7. La existencia de “fósiles moleculares” en distintas especies, como las secuencias de ADN similares a genes pero que no son funcionales (los llamados “pseudogenes”), o parecidas a secuencias virales que se sabe se incorporan al genoma del hospedero (llamadas “ERVs” o retrovirus endógenos). Tanto más próximas son las especies, más comparten esas secuencias vestigiales.

Lo que tal vez ayude a reducir el prejuicio hacia el pensamiento evolutivo es demostrar que la evolución es algo presente en nuestra vida cotidiana y no algo distante, que pertenece únicamente a un pasado con el cual no tenemos nada que ver. La comprensión y aceptación de la evolución forman parte del desarrollo agropecuario (por ejemplo, en la selección artificial, criando híbridos y controlando pestes), de la prevención de enfermedades (detectando sus componentes genéticos, desarrollando antibióticos y estrategias epidemiológicas; hasta el cáncer tiene componentes evolutivos) e incluso una reducción en el sufrimiento animal en experimentos (al seleccionar y simular las formas más simples que pueden servir como modelo), y de la arquitectura y maquinaria (minimizando el impacto ecológico, por ejemplo).

CAPÍTULO 4: ORIGEN DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA

¿Cuáles son los principales factores que permiten la variación genética?

Por Raquel Dias Andrade, 12º grado, Escuela Secundaria de Valongo

La reproducción sexual permite obtener individuos genéticamente diferentes entre sí y a los progenitores, pues se originan a partir de dos progenitores y resulta de dos fenómenos que están íntimamente relacionados entre sí: la meiosis y la fecundación.

La fecundación permite la combinación de los genes de los cromosomas maternos y paternos, originando descendientes con combinaciones únicas de genes. Así, al contrario de la reproducción asexual, en que los descendientes son clones de los progenitores, éstos son genéticamente diferentes entre sí y de sus progenitores, presentando características diferentes unos de otros. El cigoto resultante de la fecundación, una célula diploide (con un número característico de cromosomas), se divide por mitosis sucesivas, sufre crecimiento y diferenciación celular y da origen a un individuo adulto. Para que pueda ocurrir la fecundación, o sea, la duplicación del número de cromosomas, tendrá que ocurrir un proceso anterior que permita la reducción a la mitad del número de cromosomas en los gametos, manteniendo así el número cromosómico característico de cada especie a lo largo de las generaciones. Ese proceso es la meiosis. La meiosis es el proceso que permite la formación de gametos, células haploides, o sea con la mitad de los cromosomas de una especie. Durante la meiosis ocurren varios fenómenos que permiten obtener gametos con combinaciones genéticas siempre diferentes, lo que permitirá, más allá de la fecundación, la variación genética entre los descendientes de una misma población. ¿Y qué son?

Antes que nada, es importante dejar claro las fases que constituyen este proceso: la meiosis está constituida por dos divisiones - la división I, reductiva, y la división II,

equitativa. Cada división contiene cinco fases o etapas - la profase I y II, la metafase I y II, la anafase I y II, la telofase I y II y la citocinesis I y II. Así, a través de este proceso una célula diploide dará origen a cuatro células haploides genéticamente diferentes entre sí. Vamos entonces a proceder con los factores que introducen la variación genética en la reproducción sexual, fundamentales para la sobrevivencia y la evolución de las especies. En la profase I ocurre el alineamiento de los cromosomas homólogos por los puntos de quiasma, constituyendo tétradas de cromátidas, pues cada cromosoma está ahora constituido por dos cromátidas, resultado de la replicación del ADN en la fase S de la interfase (ciclo celular). En los puntos del quiasma ocurre *crossing-over*, un fenómeno que permite la recombinación entre cromosomas de los genes maternos con los paternos, aumentando así las posibilidades de combinaciones genéticas diferentes en los gametos. En la anafase I ocurre el alineamiento de los cromosomas homólogos en la placa ecuatorial y la segregación aleatoria e independiente hacia los polos de la célula, originando dos conjuntos de cromosomas genéticamente diferentes, de entre las múltiples combinaciones posibles. También en la anafase II ocurre la separación aleatoria de las cromátidas hermanas hacia los polos de la célula, que son genéticamente diferentes debido a la ocurrencia del *crossing-over*. En la fecundación ocurre la unión aleatoria de gametos, lo que permite combinaciones únicas de genes en los descendientes, garantizando la diversidad de características entre los individuos de una población.

Más allá de estos factores, hay otros que también pueden contribuir al aumento de la variación genética, como las mutaciones genéticas que pueden ser en los genes o los cromosomas. En las mutaciones de los genes puede haber, principalmente en la replicación del ADN, cambios, adición o substracción de nucleótidos de un gene, provocando alteraciones en la información que codifica para la síntesis de una proteína dada. Estas alteraciones se pueden expresar en características nuevas en los individuos que pueden ser favorables para su sobrevivencia en el ambiente en el que viven. Las mutaciones cromosómicas están bastante relacionadas con la meiosis y constituyen anomalías en la estructura de los cromosomas o en su número en los

gametos. En la profase I, durante el *crossing-over*, puede ocurrir la pérdida, substitución o repetición de segmentos entre cromosomas de pares diferentes, modificando así la estructura de los cromosomas en las células resultantes: mutaciones cromosómicas estructurales. En la anafase I y II, pueden ocurrir mutaciones en el número de cromosomas en las que los cromosomas no son distribuidos equitativamente en los polos, resultando en gametos con un número anormal de cromosomas.

Es en la diversidad de características en una población que actúa la selección natural. Al introducir variación genética, la reproducción sexual permite obtener individuos con características diferentes que pueden ser favorables a las nuevas condiciones del medio, aumentando la probabilidad de adaptación a las alteraciones ambientales. Así, por selección natural, son seleccionados los genotipos más favorables, que se acumulan a lo largo del tiempo, cambiando el acervo genético de las poblaciones y permitiendo la evolución de las especies.

¿Cuál es la relación que existe entre la mutación genética y la selección natural en la evolución de los organismos?

Por Andreia Pinto Machado, 11º grado, Grupo de Escolas de Padre Benjamim Salgado

La relación entre estos dos conceptos es grande, pues un concepto implica la existencia del otro; esto es, la mutación genética genera variación de genes, que es sometida al proceso de la selección natural.

Las mutaciones genéticas consisten en alteraciones en las secuencias de nucleótidos del material genético; o sea, variaciones en el conjunto de los genes de una población. Éstas pueden ser favorables al organismo en el que ocurren o pueden ser perjudiciales. De una forma general, las mutaciones perjudiciales son raramente observadas en una población, pues por medio de la selección natural, sólo los más aptos sobreviven y permiten la reproducción diferencial; ésta consiste en un mayor número de descendientes criados a partir de una cierta especie que

experimenta la selección natural, acumulando de esta forma las mutaciones favorables, resultando en cambios evolutivos en las poblaciones.

El concepto de la selección natural se explica debido a que las características favorables que son hereditarias (origen en mutaciones genéticas del linaje germinativo) se vuelven más frecuentes en generaciones sucesivas de una población de organismos que se reproducen, y que las características desfavorables que son hereditarias se vuelven menos comunes. Este concepto fue propuesto por Darwin para explicar la evolución de las especies y la adaptación de los seres vivos. Por ejemplo, un ratón puede producir una serie de nuevos cambios al nivel genético, algunos de ellos hasta pueden ser neutrales (sin alguna modificación en el organismo), pero otros pueden aumentar su mejor adaptación al medio ambiente como, por ejemplo, una mutación que permite un cambio de color suyo o un cambio de color de sus descendientes, volviéndose más oscuro y siendo, por tanto, más difíciles de ver por los depredadores. En esta situación la mutación será bastante favorable y como este ratón tiene mayor probabilidad de sobrevivencia, sus características serán pasadas a sus descendientes y, con el tiempo, el número de ratones con esta característica (color del pelo) será mayor, o sea, la especie evolucionó, siendo constantes este tipo de evoluciones.

Podemos entonces concluir que las mutaciones genéticas transmitidas a las especies venideras por medio de la selección natural, permiten la evolución de las especies volviéndolas más aptas al medio en donde viven. Sin embargo no existen pruebas de que las mutaciones genéticas sean benéficas a los seres humanos en su constitución actual, pues aún no ha sido encontrada alguna mutación genética que aumente la eficiencia de una proteína humana codificada genéticamente, y los especialistas concuerdan en que cada nueva generación humana tiene una constitución genética levemente más desordenada que la anterior, siendo este proceso de deterioro irreversible. Todas las terapias genéticas existentes sólo pueden minimizar las transformaciones ocurridas debido a la mutación, sin embargo no revertirá el proceso degenerativo, simplemente revelará sus efectos.

¿Cuál es la relación existente entre las mutaciones y la selección natural en la evolución de los seres vivos?

Por Mara Filipa Oliveira Gorito, 11º grado, Escuela EB 2,3/S Miguel Torga

El genoma de un individuo puede sufrir alteraciones, designadas mutaciones. Según el neodarwinismo las mutaciones son un factor de evolución, pudiendo ser génicas o cromosómicas.

Las mutaciones génicas corresponden a mutaciones que afectan solo un gene, en las que uno de los dos alelos sufre una modificación por pequeñas alteraciones en el número o en la secuencia de sus nucleótidos. Debido a la redundancia del código genético, algunas mutaciones puntuales no provocan alteración de los aminoácidos sintetizados, cuando se traduce a mRNA (ARN mensajero), denominándose mutaciones silenciosas. Son muy comunes y responsables de la variación genética que no se expresa fenotípicamente. La mutación con mal sentido es otro tipo de mutación génica, en la cual hay substitución de las bases que pueden alterar el mensaje genético, de tal forma que un aminoácido es substituido por otro en la proteína. Este tipo de mutación, incluso puede anular la actividad de la proteína, en la mayoría de las situaciones puede disminuir un poco su eficiencia catalítica, por lo que estos individuos pueden sobrevivir aunque la proteína sea esencial para la vida. Excepcionalmente, a lo largo de la evolución, este tipo de mutaciones puede aumentar la actividad de algunas proteínas. Otro tipo de mutación génica es la mutación sin sentido, en la que hay substitución de bases pero, en este caso, ocurre una presencia anticipada del codón de finalización. No todas las mutaciones se basan en el cambio de bases, pudiendo ocurrir una adición o deleción de pares de bases únicas. Éstas se llaman mutaciones por alteración del marco de lectura, ya que interfieren en la lectura del mensaje genético, llevando generalmente a la síntesis de proteínas no funcionales.

Las mutaciones cromosómicas corresponden a alteraciones al nivel de porciones de cromosomas o de cromosomas completos, incluso al nivel de conjuntos de cromosomas. Las mutaciones cromosómicas más comunes

son las estructurales. En una mutación cromosómica estructural se mantiene el número de cromosomas únicamente alterando el arreglo y/o el número de genes, pudiendo ser de cuatro tipos: deleción, duplicación, inversión y translocación. Las alteraciones cromosómicas por deleción representan una pérdida del material cromosómico. Las deleciones visibles de cromosomas humanos están asociadas siempre a grandes incapacidades. La duplicación se caracteriza por la repetición de una porción del cromosoma. Las duplicaciones son alteraciones cromosómicas muy importantes para la evolución porque proporcionan información genética complementaria, potencialmente capaz de asumir nuevas funciones. En cuanto a la inversión, esto ocurre cuando un segmento cromosómico se somete a una rotación de 180 grados, sin cambiar su localización en el cromosoma. La transferencia de una porción del cromosoma, o incluso un cromosoma entero, para otro no homólogo se conoce como translocación simple. Las translocaciones más comunes son las translocaciones recíprocas, donde se intercambian segmentos entre cromosomas no homólogos. Éstas pueden alterar drásticamente el tamaño de los cromosomas, así como la posición del centrómero.

Las mutaciones cromosómicas numéricas son anomalías en las que hay alteración del número de cromosomas. Pueden ser poliploidías (multiplicación del conjunto de todos los cromosomas) o aneuploidías (involucran solo un par de homólogos determinados). La no disyunción de los cromosomas homólogos durante la meiosis es la principal responsable de la mayoría de las aneuploidías, pues los errores en el proceso de separación de los cromosomas homólogos (o cromátidas) que se dislocan de diferente modo hacia los polos de la célula, forman células con diferente patrimonio genético.

Así, cuando surge una mutación hereditaria en un individuo de una población, confiriéndole un fenotipo más apto al ambiente, la selección natural lo beneficia en la lucha por la sobrevivencia. Si ese mutante tuviera éxito reproductivo, sus genes se transmiten a los descendientes, que presentarán mejores capacidades de sobrevivencia y consecuentemente la población cambiará gradualmente. Si la mutación fuera letal u originara individuos estériles,

no interfiere en el proceso evolutivo porque la selección natural acaba eliminando esas mutaciones de la población, no siendo transmitidas de este modo a la descendencia y sin que haya su perpetuación a lo largo de las generaciones.

Si la mutación es somática puede producir un clon de células mutantes idénticas entre sí, que se distinguen fácilmente de otras células del individuo. En términos de herencia, una mutación somática no se transmite obviamente a la descendencia, a excepción de los casos de reproducción asexual. Más bien, un cambio en las células de la línea germinal es probable que se traslade a la descendencia. Así, las mutaciones pueden alterar la capacidad de sobrevivencia de los mutantes y la selección natural decide su preservación o eliminación, ocurriendo así la evolución.

Por José Melo-Ferreira

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

La mutación es la responsable de la generación de nueva diversidad genética, pues crea nuevas variaciones. Es el resultado de un error en la copia de las cadenas de ADN durante la división celular (puede ocurrir también por influencia ambiental, como la exposición a la radiación) y, cuando ocurre en las células reproductivas de los seres vivos, puede ser transmitida a la siguiente generación y así introducirse en la población. Las mutaciones pueden variar en su magnitud y tipo. Pueden afectar sólo una posición en la secuencia de ADN, grandes pedazos de cromosomas o incluso cromosomas enteros. También pueden producirse por la sustitución de un nucleótido (la unidad básica del ADN) por otro, pero también por la duplicación, inserción, pérdida, inversión o translocación de porciones de la cadena de ADN. Si pensamos en el ADN como un libro en el que están todas las instrucciones para construir y regular a un ser vivo, la mutación sería un error mientras se transcribe o copia ese libro. La consecuencia de esos errores puede ser nula si las instrucciones no se alteran; pero también puede provocar un cambio en las instrucciones. En este último caso, el desenlace también es variado, dependiendo de cuál sea el cambio y el medio en el que vive el organismo; asunto que será abordado más adelante.

En los organismos con reproducción sexual (es decir, aquellos en donde la formación de un nuevo organismo involucra la recombinación del material genético de sus padres), además de la mutación hay otros procesos que permiten barajar la información a lo largo de las generaciones y así crear combinaciones genéticas nuevas en los organismos descendientes (los “hijos”). Una es la separación aleatoria de los cromosomas en la formación de gametos (que son las células sexuales que se funden en la fecundación). Si recibimos una versión de cromosoma

de cada uno de nuestros padres (llamados cromosomas homólogos) la versión que transmitimos a nuestros hijos es escogida aleatoriamente. Por ejemplo, considerando que los humanos tenemos 23 pares de cromosomas, habría 2^{23} , o sea, 8,388,608 combinaciones de gametos diferentes potencialmente para una sola persona (pero también es necesario poner atención a la recombinación en este contexto, misma que se trata más abajo). En la fecundación, la unión de los gametos (en los humanos, óvulos y espermatozoides) para producir un cigoto es también aleatoria; por eso hay 8,388,608², o sea 70,368,744,664 combinaciones posibles de cromosomas en la formación de un cigoto.

Hay otra fuente de nuevas combinaciones genéticas que ocurre durante la formación de los gametos e involucra el intercambio de material genético entre cromosomas homólogos, antes de la separación aleatoria ya mencionada. Este proceso se conoce como recombinación o *crossing-over* cromosómico. Este proceso multiplica aún más el número de combinaciones genéticas posibles en la formación de un individuo por un número indeterminado de variantes, ¡resultando en un valor virtualmente infinito!

Claro que compartimos mucha de nuestra variación genética con nuestros padres y hermanos y también un poco con familiares lejanos; y hasta con personas que no conocemos y a quienes no consideramos parientes. Pero cada individuo que provenga de reproducción sexual es el portador de una combinación genética única (sólo los “gemelos verdaderos” son la excepción, ya que provienen del mismo evento de fecundación). Si ahora consideramos todas las variantes genéticas de todos los genes de todos los individuos de una población natural, tendríamos lo que se conoce como acervo genético. Éste se puede caracterizar por las frecuencias en que cada variante ocurre en la población. Esas variantes se llaman alelos. Es decir, los tipos de información diferentes que se pueden obtener de un mismo sitio de ADN o gene. En los organismos diploides, como nosotros, para cada sitio de ADN hay dos informaciones homólogas alternativas, una que viene de nuestro padre y otra que recibimos de nuestra madre: si esa información fuera igual, las dos copias contarían para la frecuencia en la población de ese alelo; y si fuera diferente, contaría por separado para la frecuencia de cada uno de los dos alelos distintos en la población.

Las frecuencias alélicas en una población pueden cambiar a través de las generaciones (es decir, evolucionar). La mutación, por ejemplo, es una de las responsables de esos cambios (y también la recombinación), pues introduce variación nueva en las poblaciones. El destino de una variante genética depende esencialmente de dos fuerzas evolutivas: la deriva genética y la selección natural. El acervo genético de una generación dada es el resultado de un muestreo azaroso de las variantes genéticas en la generación anterior, así que pueden cambiar las frecuencias de los alelos simplemente por azar: eso es la deriva genética. En las poblaciones pequeñas la importancia de la deriva es grande (todos sabemos que las muestras pequeñas no son muy representativas para describir las proporciones reales de una población de datos) y en poblaciones grandes es menor, aunque no deja de ser importante. La deriva genética puede llevar a la fijación (es decir, que un solo alelo se vuelva la única variante para un gene, con 100% de frecuencia) o a la pérdida de alelos en la población. Si un alelo, que puede haber surgido por mutación, no tiene influencia en la adecuación (o eficacia) de los organismos en el medio en que viven, los cambios en su frecuencia dependen solamente de la deriva

genética. Sin embargo, la información genética puede ser responsable de una característica ventajosa. En ese caso, los individuos que la poseen van a sobrevivir y reproducirse más y así ese alelo aumentará en la población a través de las generaciones, fijándose y contribuyendo a la adaptación de la población entera al ambiente. Si, por el contrario, la información de un alelo es perjudicial, los individuos que la tienen dejarán menos descendientes, o ninguno, y por eso la tendencia de ese alelo es que acabe por desaparecer en la población. Entonces, la selección natural ocurre como una consecuencia de la variación existente en una población en un determinado ambiente y es también una de las fuerzas que determina el destino de una mutación en las generaciones siguientes.

CAPÍTULO 5: UNA CARTA HIPOTÉTICA DE MENDEL A DARWIN

.....

La carta... ¿mito o realidad?

Por Marlene Veiga, 11º grado, Grupo de Escuelas de Mogadouro

Gregor Mendel
Heinzendorf, nº 16
6500-566 República Checa

Charles Darwin
Shrewsbury , nº 8
700-333 Inglaterra

Queridísimo Darwin, ¿cómo van las cosas por allá?

Antes que nada quisiera felicitarlo por las fantásticas investigaciones y descubrimientos que ha realizado, así como por la publicación de “*The origin of species by means of natural selection*” [“El origen de las especies por medio de la selección natural”]. El árbol que representa la relación entre los animales y las plantas de la actualidad junto con los otros, ya extintos, sus ancestros, fue un golpe maestro. No sé

si entendía realmente por todos o hasta por el autor mismo, mi querido Darwin. Tranquilícese mi tan estimado Darwin, no pretendo ni vengo con esta carta a ridiculizar sus trabajos y mucho menos hacer aquello que muchos de los de su círculo pensante ya hicieron. Las acusaciones que le hacen son pura especulación de quien nunca observó atentamente el mundo que le rodea. Las pruebas que tanto le piden existen. Permanecen en mi jardín contempladas por quien aprecia su color y forma y, sin embargo, invisibles a los ojos de todos aquellos que tan solo las ven y no las observan.

Su teoría acerca de la evolución de los seres vivos es fabulosa, en mi opinión es perfecta o, mejor, casi perfecta. Las explicaciones que cuenta de la forma en que evolucionamos los seres vivos hasta presentar las características que observamos actualmente me parecen muy bien fundamentadas, con excepción de dos pequeñas, grandes, cuestiones que se quedaron en el aire... Como ya lo hizo notar, en organismos semejantes es posible distinguir características distintas. ¿Qué explicación le suscitó tal observación? ¿Cómo es que esas características pasan a la descendencia?

No sé si tengo razón en lo que voy a revelar. Aparentemente los razonamientos me parecen lógicos y, si lo fueran, mi querido amigo, nunca nadie volverá a poner en duda lo que dice, pues la respuesta a sus problemas tienen una solución racional, experimental y verificable. Mis investigaciones y experimentos en plantas me permitieron concluir que las características son transmitidas, entre individuos de la misma especie, durante la reproducción. ¿Le causa curiosidad? Le explico... Mis descubrimientos, al contrario de los suyos, se restringieron a un pequeño espacio de jardín y la manipulación de chícharos de la especie *Pisum sativum*. Utilicé chícharos en mis experimentos porque son plantas fáciles de cultivar y con características fácilmente observables. Presentan un intervalo corto entre cada generación y un número grande de descendientes, sus flores son hermafroditas en las cuales el androceo y el gineceo están encerrados sobre los pétalos, llevándolas, naturalmente, a auto fecundarse. Todas estas características facilitaron la manipulación de las cruza y la obtención de líneas puras; las que producen descendencia idéntica por auto fecundación en todas las generaciones.

Cuando quiero hacer cruza selectiva quito los estambres (todavía inmaduros) para evitar la autofecundación y, cuando el gineceo está maduro pongo en su estigma los granos de polen de otra planta.

Inicialmente, mis trabajos no fueron desarrollados con un carácter científico, sino que pretendían dar respuesta al contexto social e histórico en el que vivo. Como es de su conocimiento, la región de Moravia se encuentra repleta de propietarios de tierras que desean una “revolución agrícola” que aumente la producción. Para satisfacer este deseo se crearon en esta región muchas sociedades académicas, entre ellas se encuentra la Sociedad de Ciencias Naturales de Brunn, de la cual formo parte. Se adiciona a tales acontecimientos el hecho de haber nacido en el seno de una familia de agricultores que me entrenaron en la habilidad de la ejecución de la técnica de polinización artificial, esencial para las cruza entre chícharos que efectué. Pero alejémonos de las explicaciones metodológicas y centrémonos en los resultados, que son los verdaderamente importantes. Los trabajos que desarrollé me condujeron a la formulación de tres leyes que le dejo aquí en forma resumida. La primera, a la cual llamé la ley de la segregación, dice que en la fase de formación de los gametos existen dos factores que se segregan. La segunda ley, también conocida como la ley de la homogeneidad, sostiene que las características de un individuo no son determinadas por la combinación de los factores de los padres, pero sí por la característica dominante de uno de los progenitores. En cuanto a la tercera ley, también denominada ley de la recombinación de los factores, dice que cada una de las características puras de cada variedad se transmite a la segunda generación de manera independiente entre sí.

Espero que se quede tan iluminado con mis descubrimientos como yo lo hice al leer los suyos. La unión de dos saberes constituirá la revolución del pensamiento científico... No hable de esto con nadie, queme la carta si lo encuentra prudente y venga, lo más pronto posible, a visitarme para que hablemos mejor de este asunto.

De respuesta a estas palabras y calme esta mente rebosante...

Gregor Mendel

Por Rodolfo Salas Lizana

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Después de la publicación de “El origen de las especies por medio de la selección natural” las teorías de Darwin sobre la ancestría común y la descendencia con modificación fueron aceptadas con relativa facilidad en el mundo científico y permearon rápidamente al mundo social. Sin embargo, la idea de que el principal mecanismo de la evolución es la selección natural no fue aceptada tan rápidamente. Esto, debido a una razón relacionada con los trabajos de Mendel que involucran a los mecanismos de la herencia. Para Darwin, como muchos de sus contemporáneos, la herencia de los caracteres se debía a una mezcla, por partes iguales, de las características de los padres. Por ejemplo, si uno de los padres fuera negro y el otro blanco, su descendencia debería ser de color gris. La herencia de caracteres mezclados es incompatible con la evolución por selección natural, pues una característica ventajosa en alguno de los padres se perdería parcialmente al mezclarse con las del otro padre, no necesariamente ventajosa. Para que la selección natural pueda ocurrir, la característica debe aumentar en frecuencia en las poblaciones donde aparece al aumentar los descendientes con dicha característica, pero por herencia mezclada no hay manera en que esto suceda.

Los trabajos de Mendel, por otro lado, postulan reglas por las cuales se heredan “partículas” (lo que ahora llamamos genes) que brindan a quien las posee diferentes caracteres, como el color amarillo o la superficie arrugada de las semillas de los chícharos. Esta teoría de la herencia es compatible con la evolución por selección natural únicamente cuando se considera que una característica morfológica es el resultado de la acción de muchos genes que contribuyen, un poco cada uno, a esa característica; por ejemplo, la altura, el peso o el color del cabello. Fue hasta principios del siglo XX cuando un genético y matemático inglés, Ronald A. Fisher, encontró que los trabajos de Mendel (y muchos de los que continuaron su labor) y la selección natural de Darwin eran perfectamente compatibles. Este hallazgo desató una revolución científica en la biología que se prolongaría por décadas y que ahora conocemos como la Síntesis Moderna. En ella se reunió todo tipo de información (paleontológica, anatómica y genética, entre otras) en torno a las ideas de Darwin, unificando por primera vez a todo el conocimiento científico en torno a la evolución biológica.

Mucho se ha especulado sobre si Darwin leyó o no los trabajos de Mendel y no hay una respuesta definitiva para tal debate. Se sabe que Mendel leyó muchos trabajos de Darwin, incluyendo la segunda edición en alemán de “El Origen”, en 1863. En su ejemplar hizo muchas anotaciones muy meticulosas, incluyendo de vez en cuando signos de admiración. En 1865 Mendel presentó ante la Sociedad para el Estudio de las Ciencias Naturales de Brunn su trabajo titulado “Experimentos en hibridación de plantas” donde describe los principales hallazgos que culminarían en las leyes que menciona Marlene en su ensayo. Mendel pidió 40 copias de su publicación y las envió a los más destacados científicos del momento. Se dice que una de estas copias fue enviada a Darwin, pero una cosa es que haya sido enviada, otra que haya sido recibida y otra más que Darwin la hubiera leído. Lo cierto es que Darwin escribía y recibía diariamente muchas cartas, muchas de las cuales se conservan actualmente en museos

alrededor del mundo, y ninguna de éstas fue escrita o proviene de Mendel.

Aunque Darwin no haya recibido el manuscrito de Mendel, tuvo muchas oportunidades para leer sobre él. En un libro sobre híbridos de plantas cuyo autor es Hermann Hoffman había una página completa dedicada a los trabajos de Mendel. La copia del libro de Hoffman, propiedad de Darwin, tiene anotaciones en los márgenes alrededor de esta página, pero no en ésta. Asimismo, una vez le pidieron a Darwin que sugiriera libros sobre la hibridación en plantas y él mandó una copia de un libro de Wilhelm Focke que trataba sobre el tema, publicado en 1881. El trabajo de Mendel estaba incluido en ese libro entre las páginas 108-111, mismas que en la copia que mandó Darwin estaban pegadas, sin recortar.

Es muy curioso que una persona tan meticulosa como Darwin no se percatara de la relevancia de los trabajos de Mendel, si es que leyó algo sobre ellos. Darwin mismo hizo experimentos de hibridación con chícharos, sólo que no buscando las proporciones de los caracteres en la descendencia, como Mendel, sino propiedades de los híbridos. En particular a Darwin le interesaba algo que los agricultores llaman “el vigor híbrido” y que hace que la descendencia híbrida tenga características diferentes de los padres, por ejemplo que sean más resistentes a condiciones desfavorables del ambiente o más altos o con más frutos. Es asimismo curioso que en los resultados de uno de estos experimentos, realizado con una planta llamada comúnmente “boca de dragón” (*Antirrhinum majus*), Darwin encontrara que una variante asimétrica (llamada pelórica) muy rara se encontró en la segunda generación en una proporción de casi 3:1 (90 normales y 37 asimétricas), justo como lo predice la segunda ley de Mendel. Hay una especulación más acerca de Mendel y Darwin, y es que el trabajo de Mendel presentaba sus resultados de una manera completamente matemática, explicando proporciones y cruces. Se dice que Darwin no sentía agrado por las matemáticas y es posible que la manera en que Mendel expresó sus resultados ahuyentara la mirada de Darwin hacia otros horizontes.

Sea como fuere, los trabajos de Mendel no se aplican de una manera obvia a la propuesta de selección natural de Darwin. Los caracteres que observó Mendel son discretos (rugoso o liso, amarillo o verde), mientras que la idea de Darwin sobre la evolución y la herencia era gradual (por ejemplo, debían observarse todos los estados intermedios entre arrugado y liso). Es por eso que el descubrimiento de Mendel, a principios del s. XX, significó el punto más bajo de credibilidad de la teoría de evolución por selección natural. Se necesitaron muchos años antes de que el genio de Fisher pudiera ligar una cosa con la otra. Así que probablemente no estuvo tan mal que los trabajos de Mendel estuvieran “escondidos” por mucho tiempo y que Darwin no los leyera (o no les prestara suficiente atención).

CAPÍTULO 6: LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN NATURAL

¿Cómo surgió toda la diversidad presente en la naturaleza?

Por Joana Dias, 11º grado, Escuela Secundaria Infanta D. Maria

Cuando se hace un análisis de lo que nos rodea, de toda la diversidad que contemplamos y de todas las especies existentes, fácilmente nos encontramos con una belleza innata a la cual denominamos naturaleza. Pero... ¿Cómo habrá surgido toda esta biodiversidad?

Hasta el siglo XVIII era defendida la teoría fijista, que explicaba el origen de la vida de acuerdo con el creacionismo, o con el catastrofismo o, incluso, a través de la generación espontánea. Estas hipótesis defendían que las especies son inmutables, esto es, que no daban lugar a otras. A medida que los conocimientos científicos se ampliaban, estas teorías se dejaron de lado. El evolucionismo se impuso y, de entre muchos científicos que lo defendieron, dos grandes nombres quedaron en la historia de la ciencia, Lamarck y Darwin. Los evolucionistas defienden que las especies van evolucionando de acuerdo con las presiones selectivas que los ambientes ejercen. El ambiente, desde el punto de vista del lamarckismo, genera una necesidad de adaptación, esto es, a través de un esfuerzo individual cada individuo va utilizando o no una determinada función de su cuerpo (ley del uso y desuso) y, al adquirir una determinada característica la pasará a la descendencia (ley de transmisión de los caracteres adquiridos). Del punto de vista del darwinismo, el ambiente tiene un papel seleccionador - teoría de la selección natural- pues, en una población donde haya variación intraespecífica, los individuos más aptos a un cambio ambiental sobrevivirán, al contrario de los menos aptos (sobrevivencia diferencial) y, consecuentemente, los primeros se reproducirán con una mayor frecuencia (reproducción diferencial) originando individuos con diferentes características, mejor adaptados, pudiendo originar una nueva especie.

Después de estas teorías surgió el neodarwinismo - teoría sintética de la evolución - que se parece bastante a la de Darwin pero, debido al conocimiento científico acumulado hasta entonces, puede explicar cómo surge la variación dentro de una misma población. Esta teoría sostiene que la variación existe como resultado de la meiosis, la fecundación y las mutaciones (son raras, pero cuando ocurren pueden hacer surgir determinadas características que aumentan el poder adaptativo de la población, haciendo evolucionar a la especie). De esta forma, con el pasar del tiempo, el acervo genético de una población va cambiando y de esta manera surgirán nuevas especies, así como ocurrirá también la extinción de otras. Estas diferencias entre individuos de diferentes especies pero, sin embargo, bastante semejantes, son visibles después de un breve análisis de las interacciones que establecen con el medio en el que están insertadas. Por ejemplo, hay diferentes especies de zorros que, por haber sufrido presiones selectivas diferentes, sufrieron un proceso evolutivo divergente.

Vulpes zerda, más conocido como zorro del desierto, habita en zonas desérticas tal como su nombre lo indica, y como tal, posee orejas y cola de cerca de 15cm, lo que les facilita la pérdida de calor, y posee un pelo del color de la arena para ayudar al camuflaje. Por otro lado tenemos a *Alopex lagopus*, el zorro del ártico, que tiene orejas de pequeñas dimensiones y una gran cobertura de pelos para que no tenga pérdidas de calor que hagan bajar su temperatura corporal. En invierno, esta especie posee un pelaje blanco, mientras que en el verano su pelo cambia de color al castaño, para que se pueda camuflar. *Alopex lagopus* también tiene patas largas, para no hundirse en el hielo. Estas dos especies de zorro, *Vulpes zerda* y *Alopex lagopus*, son prueba de que los seres vivos evolucionaron de forma diferente por haber sufrido diferentes tipos de presiones selectivas, de acuerdo con el hábitat en el que viven. Los diferentes tipos de ambientes y hábitat presentes en la Tierra son los que a través de procesos evolutivos diferentes, produjeron la gran variedad de especies de la Tierra. Los diferentes procesos evolutivos, presentes en cada reino, Monera, Protista, Fungi, Plantae o Animalia, son los que han generado una enorme biodiversidad en la naturaleza, la cual puede ser contemplada a través de un mirar con atención las diferentes formas de vida que nos rodean.

¿En qué consiste la selección natural?

*Por Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez, 7º grado,
Colegio Marymount*

Charles Darwin propuso que solo los individuos más fuertes sobreviven. Sobreviven los que están mejor adaptados a su ecosistema y a las condiciones de vida. No todos los individuos que nacen llegan a la edad adulta. Solo un pequeño porcentaje sobrevive, porque no todos se adaptan. Los hijos de cada individuo heredan las adaptaciones de su papá y/o mamá. Esto no garantiza que sobrevivan, ya que también hay otros individuos y puede que estén más adaptados. Estas adaptaciones que heredan los hijos también las van a heredar sus hijos y sus nietos también (si es que hay). Estas adaptaciones ayudarán a estos individuos a seguir sobreviviendo por mucho tiempo, pero también depende de cómo la use el individuo (la adaptación). Puede que haya un individuo muy adaptado físicamente pero que sea muy tonto. Esto significa que no están lo suficientemente adaptados conductualmente. Esto significa que no es el mejor adaptado. También puede que esté muy adaptado conductualmente y no físicamente. Estos también van a morir. El individuo tiene que estar adaptado de ambas maneras para que pueda sobrevivir y causar una diferencia dentro de su especie.

Si solo dos ejemplares de una especie tienen cierta adaptación que les permiten sobrevivir, ¿podría sobrevivir toda la especie?

Por Manuel Ramirez Garcia, 7º grado, Colegio Marymount

También depende mucho de la fertilidad. Si uno es macho y la otra hembra sería mucho más fácil. Si los dos son machos creo que aún se podría (ya que también hay otras hembras) pero con ciertas complicaciones porque puede que algunos de los hijos no hereden cierta adaptación. Aun así creo que sería muy complicado hacer toda una especie con tan solo dos, mas no imposible. También depende si la adaptación es favorable para cazar o para sobrevivir en otro aspecto. Ya

que si es para poder sobrevivir en algún desastre natural la adaptación sí sería muy favorable pero si es para conseguir alimento con mayor facilidad no creo que tenga mucha importancia.

Por Alicia Mastretta Yanes

Centro de Ecología, Evolución y Conservación, Universidad de East Anglia

La evolución ocurre principalmente por dos procesos: deriva génica y selección natural. Aquí voy a explicar sólo como ocurre la evolución por selección natural. Para hacerlo voy a utilizar un ejemplo famoso: las ratas inmunes a la warfarina.

Hablar de evolución es hablar del proceso que creó la variación de la vida en la Tierra. Así que antes de contar la historia de las ratas vamos a pensar en qué es la biodiversidad. La biodiversidad empieza a nivel de los ecosistemas: los bosques, desiertos y selvas que vemos al recorrer las carreteras mexicanas son muy distintos entre sí. Los bosques están formados por pinos y encinos, los desiertos por cactus y matorrales espinosos y las selvas por ceibas, palos mulatos y otros árboles tropicales. Luego está la diversidad de especies: aunque los bosques de México y de Portugal sean similares en apariencia, en realidad están formados por especies diferentes de pinos y encinos, y también de todos los animales que los habitan. Pero la biodiversidad no se termina ahí: también existe variación entre los individuos de una misma especie que se debe a características genéticas que se heredan de padres a hijos. Por ejemplo, en humanos hay gente de diversas estaturas. La diferencia se debe en parte al ambiente (haber tenido una buena alimentación de niños) y en parte a los genes que heredaron de sus padres (los padres altos pasan a sus hijos una serie de genes que los hacen crecer más). A estas diferencias entre los individuos de una especie se le conoce como diversidad genética. Gracias a la diversidad genética es que hay diferencias en cómo se ven y (en parte) en cómo actúan los individuos de una especie aunque vivan bajo las mismas condiciones ambientales.

Mencionar que existe variación entre individuos es relevante porque las especies están, al fin y al cabo, formadas por individuos: la especie humana somos las mujeres, hombres, niñas y niños del mundo. Lo cual lleva a pensar en otra observación: los individuos que forman una especie por lo general se agrupan en una o más poblaciones que pueden estar más o menos aisladas. Por ejemplo, en México hay una especie de pino que crece sólo en la cima de montañas muy altas. De este modo los árboles que crecen en la cima del Popocatepetl (una montaña cerca de la Ciudad de México) forman una población, y los que crecen en la cima del Cofre de Perote (otra montaña, cerca de la costa del Golfo de México), otra. Es muy importante darse cuenta que las especies son poblaciones de individuos porque la evolución ocurre a nivel de poblaciones. Los individuos y sus descendientes (hijos) no evolucionan, lo que ocurre es que el porcentaje de individuos con ciertos genes en una población cambia a través de las generaciones.

Aquí es cuándo por fin viene a cuento el ejemplo de la warfarina. La warfarina es un anticoagulante. Lo que quiere decir que evita la cicatrización: quién la consuma en la cantidad

suficiente puede desangrarse hasta morir tras hacerse una cortada, aunque sea pequeña. La warfarina comenzó a utilizarse como veneno para ratas alrededor de 1950. Después de alrededor de 5 años de que la warfarina fuera muy exitosa para eliminar ratas, comenzaron a reportarse poblaciones de roedores inmunes (es decir capaces de sobrevivir) a la warfarina. ¿Cómo puede ser esto? La respuesta es que evolucionaron por selección natural. Pero ¿cómo? Empecemos por recordar lo que decía antes: existe la diversidad genética. O en otras palabras no todas las ratas son iguales. De forma independiente y desde antes que se les envenenara con warfarina, en la población podía haber algunas ratas con un alelo, es decir con una mutación en un gene que hace que la forma en que se regenera la Vitamina K cambie ligeramente. La Vitamina K es un nutriente que los mamíferos necesitamos para que nuestra sangre pueda coagular, y la warfarina impide la cicatrización porque interfiere en el proceso de regeneración de la Vitamina K. Si no hay warfarina en el ambiente, en comparación a las ratas normales las ratas con el alelo mutante tienen una pequeña desventaja, pues su método es menos eficiente y necesitan consumir más Vitamina K, pero en general tienen una vida normal. Sin embargo, resulta que si ambos tipos de ratas se envenenan con warfarina, la Vitamina K de las ratas normales se ve afectada, mientras que la de las ratas con la mutación no, es decir: son inmunes. Entonces, si se trata de envenenar a una población de ratas donde hay unas cuantas inmunes, éstas tendrán más posibilidades de sobrevivir que las ratas normales. Aún es posible que un gato las atrape o que no encuentren comida, pero tendrán ventaja sobre las ratas normales porque no se desangrarán hasta morir si se hacen una cortada. De este modo, aunque hubiera muy pocas ratas inmunes en la población original, éstas tendrán más posibilidades de sobrevivir y de reproducirse que las ratas normales. El que las ratas inmunes se reproduzcan no quiere decir sólo que nuevas ratas sustituirán a las que murieron envenenadas, sino que estas nuevas ratas habrán heredado la inmunidad a la warfarina. En las primeras generaciones aún habrá ratas normales, pero eventualmente es posible que todas las ratas de la población sean inmunes a la warfarina.

El ejemplo que he presentado aquí es uno en que la selección natural favorece a los individuos con cierta mutación, de modo que será cada vez más común en las nuevas generaciones de la población, posiblemente hasta que todos la tengan. Pero también puede ocurrir lo contrario, por ejemplo las mutaciones que producen lo que llamamos enfermedades genéticas normalmente no se transmiten a las siguientes generaciones porque los individuos que las tienen no logran reproducirse. Existen además otros tipos de selección, por ejemplo cuando se favorece tener cualquiera de los dos extremos de una característica, pero no el intermedio. Esto sucede por ejemplo con el pico de un ave africana: los individuos con el pico muy ancho son muy buenos para romper y alimentarse de cierto tipo de semillas, y los que lo tienen muy delgado, de otras. Ambos tipos se ven favorecidos por la selección natural, pero si se cruzan entre sí, sus hijos nacen con picos ni muy anchos ni muy pequeños y no son particularmente buenos para romper ninguna de las diferentes semillas y están en desventaja.

La selección natural es fácil de explicar en ejemplos de características particulares, como la resistencia a la warfarina y el pico de las aves. Pero considera que un organismo tiene muchos genes interactuando entre sí. Por ejemplo, para que una rata en una población a la que se trata de eliminar con warfarina se reproduzca no sólo necesita ser inmune al veneno, sino además

ser capaz de alimentarse y sobrevivir. Si tuviera una mutación que la hiciera perder la vista posiblemente no lograría reproducirse, mientras que otras inmunes sí. También recuerda que estos procesos ocurren en un ambiente que cambia. Si se deja de administrar warfarina a la población de ratas porque ya todas son inmunes, las siguientes generaciones no regresarán a la forma normal de regenerar la Vitamina K, porque ese alelo ya no existe en la población. Las ratas tendrán una forma no eficiente de regenerar la Vitamina K y así será la población (mientras no aparezca una mutación). Los seres vivos no estamos diseñados de la mejor manera posible, sino que nos adaptamos con base en la variación genética preexistente en las poblaciones. Por último, no hay que olvidar que la evolución no sólo sucede por selección natural, sino que al mismo tiempo ocurre la deriva génica. Así es como los cambios que se pueden dar en pocas generaciones (como la adaptación a la warfarina), se van acumulando y en el largo plazo es que las diferencias entre poblaciones pueden volverse diferencias entre especies y eventualmente la enorme variedad de vida que tenemos en la Tierra.

CAPÍTULO 7: LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN SEXUAL

.....

¿Cuál es la teoría más atrevida sobre la evolución de las especies?

*Por Rita Dinís, 11º grado, Escuela Secundaria
Infanta D. Maria*

La idea de la evolución surgió con Lamarck, al final del siglo XIX. Sin embargo, los postulados defendidos por éste fueron posteriormente desacreditados con las ideas innovadoras de Darwin. Darwin desarrolló dos grandes teorías que explicaron el surgimiento de las especies: la teoría de selección natural y la teoría de la selección sexual.

La teoría de la selección natural sostiene que las especies deben estar adaptadas al contexto. Esto daría condiciones mínimas de sobrevivencia. Las especies se desarrollaron porque surgían mutaciones que eran favorables para la sobrevivencia de las especies y eran transmitidas a las

generaciones siguientes. Pero esta no fue la teoría que despertó más curiosidad en Darwin. La segunda teoría, por ser inesperada, lo interesó realmente, a pesar de saber que enfrentaría desaprobación universal. Ésta defendía dos supuestos:

1. Los machos competían para conseguir una hembra.

Eso fue lo que hizo que los armamentos de combate de los machos aumentaran y evolucionaran para combatir con los otros machos de la misma especie. En muchas especies un solo macho se queda con la mayoría de las hembras, por eso, tenían que luchar entre sí.

2. Selección de los machos disponibles por parte de las hembras. Las armas de combate no sólo servían para luchar con otros machos, sino también para atraer a las hembras. Éstas tienen que escoger a los machos con los mejores genes para pasarlos a su descendencia, siendo altamente selectivas. Por eso existe el dimorfismo sexual (asimetría entre los sexos). Por ejemplo, en los elefantes marinos del norte los machos son mucho más grandes que las hembras. El macho fue creciendo porque siempre aparecía uno más grande que los otros, ganaba las peleas y las hembras lo escogían. Porque inicialmente los dos sexos tendrían el mismo tamaño.

Así, las hembras serían responsables de la evolución y el aumento de la inteligencia, pues prefieren a los machos más inteligentes. Pero esta teoría fue olvidada porque eso sería darle importancia a las mujeres. Esta teoría aún deja a muchas personas incrédulas en relación a que son las hembras y no los machos los responsables de la reproducción y de los genes que pasarán a las próximas generaciones.

El caso del pavorreal desafía los principios de la selección natural: es vistoso (su exhibición es peligrosa y atrae a los depredadores), es muy grande (necesita de muchas calorías y tiene un mayor riesgo de parásitos), o sea, su manutención es costosa. Pero el caso se explica por el principio de la selección sexual porque atraería hembras. Así, ¿qué puede importarle a un ser estar bien adaptado al medio si no es preferido por las hembras para pasar sus genes a la descendencia?

¿En qué les ayuda a los pavorreales el tener plumas llamativas de colores?

Por Belen Palmira Ibarra Aguilar, 7º grado, Colegio Marymount

Las hermosas plumas tan características de los pavorreales no son solamente para la admiración de nosotros los humanos, sino, también les ayuda a llamar la atención de sus presas, y es así como atraen a su alimento. Su alimentación es fundamentalmente omnívora, compuesta principalmente por semillas, frutos, bayas, plantas, verduras, insectos, ranas y pequeños reptiles, a quienes les atraen sus llamativas plumas. Estos animales, a pesar de su gran tamaño, pueden volar, otra función que les proporcionan sus plumas.

No todos los pavorreales tienen estas plumas de colores como azul y verde, con ojos negros con blanco, sino, que solo los machos cuentan con esta adaptación tan característica de ellos. Éstos extienden sus coloridas plumas de la cola, para verse así como un abanico que también les sirve para atraer y cortejar a la hembra en el momento de reproducción. La hembra no tiene las hermosas plumas de colores, sino, un plumaje blanco, y en ocasiones marrón con verde iridiscente en el cuello y obviamente, no es tan hermoso como el plumaje de un macho. El macho despliega sus alas ante las hembras, moviéndolas de forma llamativa y algo extraña. La cola tiene gran importancia en este peculiar acontecimiento, esta, suele ser la vistosidad y el colorido que hace que una hembra se elija a un macho.

¿Por qué motivo solo los venados macho (*Cervus elaphus*) tienen astas?

Por Gonçalo Mendes Rodrigues, 5º grado, Grupo de Escolas Frei Bartolomeu dos Mártires

La aparición y la evolución de las astas de los venados comenzó hace cerca de 250 mil años. Los científicos, basados en la teoría evolucionista de Darwin, explican su aparición por la necesidad de estos mamíferos de luchar entre sí con la cabeza, llevando al endurecimiento del hueso frontal

y a la formación de pequeñas salientes, que fueron evolucionando a lo largo del tiempo hasta llegar a las ramificaciones que conocemos hoy en día. Así, de acuerdo con la teoría evolucionista de Darwin, la existencia de las astas en los venados machos y la no existencia de astas en los venados hembra se puede explicar por las frecuentes luchas con la cabeza que los machos hacían entre sí para atraer a las hembras. De este modo, en épocas de apareamiento, el venado macho con las astas más fuertes era elegido por los venados hembra, pasando sus genes a las generaciones siguientes.

Por Alejandra Valero Méndez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Tal vez a estas alturas ya habrás escuchado que la teoría de evolución por selección natural propuesta por Charles Darwin dice que aquellas características que hacen más probable que los organismos sobrevivan y se reproduzcan son las que permanecen en las poblaciones naturales. Pero Darwin era un hombre que no quedaba satisfecho completamente con ciertas explicaciones, y acostumbraba a hacer todavía más preguntas. Una de esas preguntas fue ¿por qué existen características en los seres vivos que ponen en peligro su sobrevivencia? Algunos ejemplos de éstas son los espolones de los gallos, los cuales pueden herir severamente a otro individuo; ¿no sería lógico pensar que la selección natural eliminaría características que disminuyen la sobrevivencia? Otra pregunta planteada por Darwin fue ¿por qué hay características que (aparentemente) no tienen nada que ver con su sobrevivencia? Un ejemplo de esto son las plumas vistosas de algunas aves del paraíso, como el macho de *Parotia lawesii*.

A Darwin le tomó varios años de observaciones poder llegar a una respuesta, pero observando el comportamiento de los animales se dio cuenta de que existen características especiales que solamente las poseen los machos, no las hembras y que éstas tienen mucho que ver con cuáles individuos se reproducen... y cuáles no. Estas características por lo general son muy llamativas: a veces son estructuras de tamaño exagerado (como las astas de los venados y otros cuadrúpedos), y otras veces son estructuras que tienen colores muy brillantes (como las plumas de los pavoreales). Lo que es bastante frecuente es que en la mayoría de los animales, sólo un sexo las posee, y el otro no (muchas veces es el macho quien las posee, pero en contados casos, es la hembra).

Darwin observó que estas características aparentemente no aumentan la sobrevivencia de quien las posee, pero sí tienen que ver directamente con el proceso de la reproducción. Por ejemplo, los renos machos y otros cuadrúpedos machos que poseen astas son animales muy territoriales y pelean con machos que se acercan mucho a las áreas que ellos defienden. Cabezazos van y vienen en estas peleas, y quien tenga las astas más grandes es capaz de ganar las peleas y alejar al otro macho de su territorio. Las hembras son espectadoras de estos enfrentamientos, y varias de ellas pueden permanecer junto al macho de las astas más grandes

y reproducirse con él. En los elefantes marinos, cuyos machos poseen unos colmillos extraordinarios, también ocurren peleas y el ganador de ellas es el que se reproduce. Pero no siempre es necesario que las hembras sean testigos presenciales de estos dramáticos enfrentamientos: en los escarabajos rinoceronte, por ejemplo, los machos poseen cuernos en la cabeza, que usan en peleas con otros machos, sobre todo durante la época reproductiva. Pero las hembras del escarabajo rinoceronte no están presentes durante estas contiendas: lo que sucede es que los machos que ganan las peleas se adueñan de territorios que tienen recursos alimenticios de buena calidad y abundantes; cuando las hembras van en busca de alimento en preparación a la temporada reproductiva, se encuentran más frecuentemente con aquellos machos que fueron capaces de adueñarse de estos territorios al ganar una pelea. Darwin estableció que aquellas características de los animales que hacen que un macho tenga más probabilidades de reproducirse que otro después de haberse enfrentado físicamente, han permanecido en las poblaciones gracias al proceso de selección intrasexual.

Pero las peleas entre machos no son la única manera de asegurar que un individuo se va a reproducir. En otras especies los machos no se enfrentan unos con otros, sino que acuden directamente a la hembra en busca de su aprobación. Veamos algunos ejemplos. Los pavoreales machos tienen plumas especiales en la cola, las cuales enseñan a las hembras durante la época reproductiva, acompañándolo de un baile. Tanto las señales visuales, químicas, o acústicas y los bailes son lo que se conoce como el patrón de cortejo, y de una especie a otra éste cambia. Las hembras observan, a veces con mucha y otras veces con poca atención, el cortejo de los machos, y si éste ha sido bien ejecutado, por medio de alguna señal conductual le indican al macho que sí se van a reproducir con él. En algunas especies los machos, en vez de hacer bailes o cantos de cortejo, ofrecen a la hembra alguno que otro “regalo”: existen unos insectos parecidos a las moscas en los cuales las hembras no tienen alas, pero los machos sí. Llegada la época reproductiva, las hembras, que viven en la tierra, suben hasta lo alto de un pasto y esperan a que aparezca algún macho que las recoja; el macho la llevará en un paseo “romántico” a visitar diversas flores en las cuales ella puede comer un poco de néctar; si las visitas satisfacen el apetito de la hembra, al final del paseo ella se va a reproducir con el macho que la recogió. Darwin reconoció que aquellas características que hacen que un macho tenga más probabilidades de reproducirse después de habérselas mostrado a la hembra directamente, han permanecido en las poblaciones gracias a un proceso ligeramente distinto, y que él llamó selección intersexual.

Tanto la selección intrasexual como la intersexual son parte de una de las explicaciones más atrevidas sobre la evolución de las especies, y que fue elaborada también por Charles Darwin; él reconoció que estos dos procesos constituyen una forma especial de selección que él llamó selección sexual. De acuerdo a Darwin, la selección sexual nos ayuda a comprender cómo es que ciertas características de los animales que no necesariamente incrementan la sobrevivencia han permanecido en las poblaciones porque incrementan las oportunidades de algunos individuos de reproducirse.

En años recientes ha sido posible comprender más acerca de la selección sexual. Por ejemplo, solo un sexo posee estas características especiales sobre todo en especies donde un sexo (los machos) se reproduce más frecuentemente que otro (las hembras). Si los machos com-

piton por reproducirse más que las hembras, se benefician más al desarrollar estructuras que aumenten su probabilidad de reproducirse (como las astas de los venados).

CAPÍTULO 8: LA EVOLUCIÓN POR SELECCIÓN ARTIFICIAL

¿Por qué los perros y los lobos tienen comportamientos tan diferentes si su genética es tan parecida?

Por Carlos Abegão, 11º grado, Escuela Secundaria Infanta D. Maria

Hay muchos estudios que afirman que el perro es un descendiente del lobo. Pero ¿será verdad?

El lobo es uno de los miembros mayores de la familia Canidae y es un predador nato en los ecosistemas a los que pertenece lo que lo vuelve poco adaptable a la presencia humana. El perro fue uno de los primeros animales en ser domesticado por el hombre al final de la Era Glacial, cuando los humanos aún necesitaban cazar para tener comida. Hoy en día, el perro es considerado como “el mejor amigo del Hombre”, pues acepta a su dueño como el “jefe de la manada”, lo que vuelve a la relación entre humanos y perros en una amistad entre dos especies tan diferentes.

El estudio comparativo del ADN del perro y sus posibles ancestros (el lobo gris, el coyote y el chacal) mostró una semejanza superior al 99.8% entre el perro y el lobo y no sobrepasa el 96% con las otras dos especies. La semejanzas entre los perros y los lobos son tales que los trabajos de arqueología para distinguir exactamente entre los vestigios de cada especie se torna muy complicado. El perro primitivo sólo se diferencia de su ancestro por algunos detalles poco fiables, como el acortamiento del hocico o

particularidades en el arco dental. Se piensa, por lo tanto, que los perros y los lobos son dos subespecies muy parecidas genéticamente, pero que presentan una diferencia grande en el comportamiento. Otro hecho que parece confirmar esta teoría es la existencia de más de 45 subespecies de lobos, que podrían estar en el origen de la diversidad racial observada en los perros.

Con todo, hay preguntas que continúan sin respuesta. Si son seres vivos pertenecientes a la misma familia, ¿por qué presentan comportamientos tan diferentes? Los biólogos continúan sin entender los motivos que hacen que un lobo sea un animal salvaje y el perro “el mejor amigo del Hombre”, sin embargo muchos presentan teorías relacionadas con estos dos animales. Según un estudio de la bióloga Kathryn Lord, de la Universidad de Massachusetts en Amherst, esta diferencia del comportamiento puede ser causada por las primeras experiencias sensoriales y el periodo de socialización, o sea, los primeros olores, los primeros estímulos visuales y los primeros ruidos. La investigadora descubrió que los hijos del lobo comienzan a caminar y a explorar el mundo aunque no vean ni oigan y tengan el olfato poco desarrollado. Por otro lado, los cachorritos sólo comienzan a explorar el mundo cuando los sentidos de la visión, la audición y el olfato están funcionando, lo que los vuelve capaces de interactuar con los seres humanos y otros animales. “Es casi sorprendente cómo los perros y los lobos son diferentes en el inicio de la vida si tomamos en cuenta lo tan semejantes que son genéticamente. Algunos cachorros de perro son incapaces de moverse. Mientras que los lobos son exploradores activos que caminan con buena coordinación y hasta son capaces de escalar pequeños obstáculos”, refiere la bióloga. La investigadora afirma que estas diferencias significativas en cuanto al desarrollo de los cachorros de canes y lobos los ponen en trayectorias distintas en relación con la capacidad de relacionarse con otras especies, lo que podría justificar la diferencia al nivel de comportamiento con la presencia humana.

Se sabe que antiguamente los humanos cazaban a los lobos, pero se quedaban con las crías que, cuando maduraban, eran menos sumisas y acababan por ser muertas o abandonadas. A pesar de esto, había excepciones, algunas de las crías permanecían dóciles y seguían

obedeciendo las órdenes. Esto hizo que éstas se cruzaran con otros lobos domesticados. En conjunto con la alteración de la dieta y las cruzas entre estos lobos, se posibilitaron cambios en la estructura de estas especies, como la reducción del cuerpo, de la cabeza y los dientes. El color del pelo, la forma de las orejas y de la cola también sufrieron alteraciones en la evolución del lobo al perro.

Concluyendo, los estudios genéticos apuntan al lobo como el ancestro del perro, siendo éste parte de la misma especie que el lobo, difiriendo apenas en una subespecie (*Canis lupus familiaris*, en el caso del perro) pero, a pesar de que estas dos subespecies presentan un código genético bastante parecido, tienen una diferencia en el comportamiento elevada. Esta diferencia conductual se puede deber a los estímulos a los que los animales están sujetos en el primer mes (en el caso de los perros) y en las dos primeras semanas (en el caso del lobo) que determinan sus actitudes conductuales en vista de la especie humana.

Por José Melo-Ferreira

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

La domesticación es uno de los procesos evolutivos más fascinantes. Consiste en la modificación de algunas características silvestres de plantas y animales para que éstas puedan ser utilizadas por el humano. La domesticación se logra después de muchas generaciones de cruzas controladas, hechas con el fin de perpetuar las características de interés. En la domesticación, lo que determina la capacidad de un individuo para reproducirse y dejar descendencia, no es su eficacia en un hábitat natural (selección natural) o su capacidad para conseguir pareja (selección sexual), sino la posesión de atributos que el Hombre consideró convenientes. Es por esta razón que la domesticación es un proceso de selección artificial.

La domesticación permitió y acompañó el desarrollo de la agricultura, un punto clave en el progreso de las sociedades humanas, ya que posibilitó la creación de comunidades sedentarias que antes se dedicaban a la caza y a la recolección. El estudio de la domesticación es fundamental para comprender el propio desarrollo de la sociedad humana moderna. La integración de los conocimientos generados por diferentes disciplinas científicas, como la genética, la paleontología y la arqueología nos permite ponernos en el lugar de un historiador del mundo natural y entender cómo ocurrió el proceso de domesticación de una especie particular. Las herramientas genéticas nos permiten, por ejemplo, comparar la información contenida en el ADN de las razas domésticas y de las poblaciones silvestres de las que éstas se originaron, e incluso

analizar ADN antiguo en fósiles silvestres y domésticos, con cientos o miles de años. Es decir, de aquellos que existieron en los tiempos más cercanos al inicio de la domesticación. La paleontología nos ayuda, entre otras cosas, a documentar y establecer fechas de los registros fósiles de los organismos domesticados (aunque, como refiere Carlos, no siempre es fácil distinguir entre individuos salvajes y domésticos). La arqueología permite, por ejemplo, distinguir cómo fue la convivencia entre animales y las comunidades humanas.

Las plantas y los animales comenzaron a ser domesticados desde hace ya miles de años, por razones diversas, como la producción de alimentos (por ejemplo, carne de res o de cerdo, leche, maíz o arroz), bienes (lana de oveja o algodón), transporte (el caballo o burro), compañía (como perros y gatos) y ornato (como conejos, perros, gatos y muchas aves, como las palomas o periquitos); entre muchos otros usos. Es por eso que vemos a conejos domésticos de todos los colores y tamaños, así como variedades de perros que sirven en tareas tan diversas como la protección, asistencia o simplemente compañía. Con respecto a los animales, la selección de la conducta dócil, destacada por Carlos, fue fundamental para permitir la convivencia entre los animales con el humano, así como para facilitar el mismo proceso de domesticación. Es por ello que el comportamiento es una de las características más relevantes que distinguen a los animales domésticos de los silvestres. ¿Cómo se hace ésta selección? Mediante cruzamiento sucesivo a lo largo de muchas generaciones (refinar un atributo puede llevar centenas de años) de los animales más dóciles de tal manera que esta característica se vuelva cada vez más marcada en una raza particular. Como se cruza a los animales que tienen una misma característica, que inicialmente son muy pocos y están emparentados generalmente (y por eso que tienen información genética semejante), la domesticación lleva a una pérdida sucesiva de diversidad genética que no solo afecta a los genes que determinan la característica, sino a todo lo demás. A menudo, dos animales de una población salvaje son más distintos, genéticamente hablando, que un animal doméstico y un silvestre de la misma especie. Es por eso que los perros son tan semejantes a los lobos, la especie silvestre que les dio origen aun cuando tengan otras características tan diferentes, como el comportamiento. Incluso entre razas los comportamientos son mucho más variados, como resultado de cruzamientos orientados para tal efecto. Esas diferencias tienen una base genética profunda y son el resultado de cientos o incluso miles de años de selección artificial. Por eso no resultan raras las diferencias tan marcadas entre individuos que están evolutivamente relacionados. Esa proximidad genética se refleja, por ejemplo, en la viabilidad de las cruces entre perros y lobos. Este hecho es muy común en muchas otras especies domesticadas, como los gatos, lo que puede resultar en la introducción de nuevas combinaciones genéticas de las razas domésticas hacia las poblaciones silvestres y, como consecuencia, la disminución de su adaptabilidad en un medio natural, poniendo en riesgo su supervivencia. En otros casos, más raros, la combinación genética introducida en la población silvestre puede conferir una mejor eficacia al medio. Por ejemplo, la introducción de variantes genéticas domésticas que producen un pelaje de color oscuro en poblaciones de lobos silvestres de Norteamérica. Sin embargo, la contaminación del patrimonio genético de las poblaciones silvestres casi siempre es nociva para su supervivencia y desde luego, un problema para la conservación de la biodiversidad.

El animal doméstico más emblemático es sin duda el perro. Las investigaciones científicas

han esclarecido muchos aspectos clave de su domesticación, aunque quedan cuestiones pendientes. Los perros actuales fueron domesticados a partir del lobo (*Canis lupus*) por lo menos hace 15 mil años (aunque existen trabajos que sugieren que podría ser antes), lo que hace del perro el primer animal en ser domesticado. La domesticación inicial ocurrió en el sur de Asia Oriental o en Medio Oriente, sin descartar una historia compleja de múltiples eventos de domesticación a partir de diferentes poblaciones de lobo y hasta entrecruzamientos posteriores con individuos salvajes. No está claro todavía cómo y por qué se domesticó a los perros. Los humanos podrían haber capturado y criado deliberadamente cachorros de lobo para usarlos como protección o para ayudarse en la caza. Alternativamente, los lobos podrían ellos mismos haberse aproximado a las comunidades humanas en busca de alimentos y, a lo largo de varias generaciones, aquellos que tenían comportamientos más dóciles y se aproximaban más acababan por tener mayores posibilidades de sobrevivir. Es decir, podría haber existido un proceso inicial de selección natural en algunas características que volvieron a esos lobos atractivos para llevar a cabo una selección artificial por el Hombre. Sin duda, el progreso científico permitirá en muy corto tiempo saber aún más sobre el proceso que condujo la existencia de más de 400 razas del mejor amigo del Hombre.

CAPÍTULO 9: LA EVOLUCIÓN CONVERGENTE

¿Están relacionados el oso hormiguero africano y el oso hormiguero gigante?

Por Susana Cunha, 11º grado, Escuela Secundaria
Infanta D. Maria

Al observar la morfología del oso hormiguero africano u oricteropo (nombre científico: *Orycteropus aferk*) y del oso hormiguero gigante (nombre científico: *Myrmecophaga tridactyla*) podemos encontrar varios parecidos. Los más visibles son los hocicos y las lenguas alargadas y patas delanteras semejantes. Sin embargo, estos animales únicamente pertenecen a la misma clase, siendo, por lo tanto, un buen ejemplo de convergencia evolutiva.

La evolución convergente es un fenómeno evolutivo a través del cual los seres vivos desarrollan características semejantes a pesar de no tener un ancestro común que las presente. Este tipo de evolución se debe a las presiones selectivas semejantes por parte del medio ambiente en el que viven. Darwin defendió la existencia de variabilidad intraespecífica; o sea, que dentro de la misma especie existen pequeñas variaciones de individuo a individuo, lo que se explica actualmente por la existencia de mutaciones genéticas. Los más aptos para sobrevivir en el medio en que viven o, dicho en otras palabras, los que tienen características más favorables para sobrevivir, van a prevalecer. Por lo tanto, éstos tienen mayor facilidad reproductiva y transmitirán su información genética y consecuentemente sus características a su descendencia. Esto se traduce en una mayor frecuencia de ciertos genes en la población; o sea, de ciertas características más favorables. Resumiendo, las estructuras que con anterioridad fueron diferentes pueden presentar características y funciones semejantes debido a una selección natural que las favorece.

El oso hormiguero gigante y el oso hormiguero africano son mamíferos con una dieta muy parecida. Ambos basan su alimentación en hormigas y termitas, razón por la cual poseen hocicos y lenguas tan alargados y patas optimizadas para escarbar los hormigueros. Tanto el oso hormiguero gigante como el oso hormiguero africano desarrollaron estas características de un modo independiente con el objetivo de adaptarse mejor a su dieta, presentando un fenotipo (características visibles, como la morfología) muy semejante, a pesar de que su genotipo (información genética) sea tan diferente. Esto significa que el oso hormiguero africano y el oso hormiguero gigante, a pesar de ser muy semejantes, no están relacionados. Únicamente sufrieron el mismo tipo de evolución.

Por Ricardo J. Pereira

Instituto Scripps de Oceanografía, Universidad de California en San Diego

Los casos de evolución convergente son las manifestaciones más claras de la formación de especies por selección natural. La teoría de la evolución por la selección natural predice que la adaptación a diferentes hábitats conduce a la formación de diferentes características morfológicas y, finalmente, a la formación de nuevas especies funcionalmente adaptadas a ese

hábitat. Sin embargo, cuando el mismo hábitat existe en áreas geográficamente aisladas, la selección natural puede producir la evolución repetida de especies nuevas especializadas a ese hábitat nuevo. La evolución convergente puede dar lugar a un grado de especialización funcional tan extremo que las especies convergentes pueden ser casi indistinguibles, a pesar de haber evolucionado a partir de ancestros diferentes.

Como Susana explica el oso hormiguero africano y el oso hormiguero gigante son un ejemplo claro de evolución convergente porque pertenecen a linajes evolutivos independientes que se adaptaron al mismo nicho ecológico. El oso hormiguero africano es una especie endémica de ese continente, mientras que el oso hormiguero gigante es originario de Centro y Sudamérica. La separación de estos continentes durante el Periodo Jurásico (hace unos 135 millones de años) creó una barrera geográfica entre los animales y las plantas que vivían allí. Desde entonces, las especies a ambos lados del nuevo océano Atlántico evolucionaron independientemente, colonizando una gran diversidad de hábitats y formando innumerables especies especializadas en cada uno de los nichos ecológicos que había en los dos nuevos continentes. El linaje evolutivo al cual pertenece el oso hormiguero africano dio lugar a especies tan distintas como los elefantes y las musarañas; mientras que el linaje del oso hormiguero gigante dio lugar a los perezosos y los armadillos. Las dos especies no desarrollaron características semejantes con el objetivo predeterminado de adaptarse a su dieta. Lo que ocurrió fue que la disponibilidad de hormigas y termitas en los dos continentes creó una presión selectiva semejante en ambos continentes, habitados por especies diferentes. Esta presión selectiva actuó en la variabilidad que existía en las dos poblaciones ancestrales de las respectivas especies beneficiando a lo largo del tiempo a los individuos con características más eficaces para ese nicho. Así, a partir de linajes ancestrales diferentes, las características morfológicas asociadas al oso hormiguero africano y al oso hormiguero gigante evolucionaron independientemente.

A primera vista, la semejanza morfológica entre las dos especies puede ser interpretada como un indicio de que la evolución por selección natural es lenta. Sin embargo, un estudio más profundo revela que este es un ejemplo claro de que la selección natural puede formar nuevas especies rápidamente y, más importante, repetidamente.

CAPÍTULO 10: COEVOLUCIÓN

¿Qué es la coevolución?

Por David Omar Arellano Contla, 7º grado, Colegio Marymount

Mi definición: coevolución es por el cual se designa al fenómeno de adaptación evolutiva mutua producida entre presa y depredador.

Janzen, en 1980, contestó coevolución es el proceso por el cual dos o más organismos hacen presión de selección mutua y sincrónica (en tiempo geológico). Es decir evolucionan, cambian de tácticas las presas para no ser cazadas y los cazadores cambian y se vuelven más fuertes que antes, más rápidos, etc.

Ejemplos: Las orquídeas han evolucionado junto con algunos insectos en cuanto a morfología, por ello tienen formas de insectos y el aroma es para atraer al macho y así llevar los sacos en el tórax de los insectos.

Por Sara Rocha

Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO), Universidad de Porto

La coevolución puede definirse como un proceso de cambios evolutivos recíprocos resultado de la interacción entre dos o más especies. Aunque algunos de los ejemplos más conocidos se refieren a la coevolución entre presas y predadores, todo tipo de interacciones puede conducir a procesos coevolutivos, principalmente el mutualismo (donde ambos interactuantes se benefician), relaciones depredador-presa o parásito-hospedero (donde el primero se beneficia y el segundo se perjudica) o competencia (donde ambas partes salen perjudicadas).

Un ejemplo son los peces limpiadores - pequeños peces que se alimentan de ectoparásitos de peces mayores, llamados "clientes". Los primeros se hacen de alimento y los segundos se libran de parásitos. Los peces mayores son generalmente depredadores de los más pequeños, pero en este caso la coevolución cambió la relación entre estas dos especies de modo que los "clientes" no intentan depredar a las especies que los limpian, quienes dejan de huir de éstos. Algunos peces limpiadores llegan a depender casi exclusivamente de la comida que obtienen de sus "clientes" y eso nos lleva a otro aspecto importante de la coevolución: las interacciones

entre las especies pueden ocurrir durante parte o todo el ciclo de vida de las especies en cuestión y, por lo tanto, conducir a diferentes grados de especialización. En algunos casos, una o ambas especies dejan de completar su ciclo de vida cuando no está la otra.

Las plantas y sus polinizadores son otros ejemplos de coevolución a partir de una relación mutualista, que pueden resultar en coadaptaciones extremas: varias especies de plantas, por ejemplo las orquídeas, han desarrollado formas muy específicas de atraer a sus polinizadores recompensándolos con alimento. Por eso algunas flores tienen apariencia de insecto (para atraer a otros), aromas atractivos o flores con determinada forma y de las cuales sólo algunas especies son capaces de alimentarse. En estos casos, la forma de la planta va evolucionando en el sentido de maximizar la cantidad de su polen que es transportado, así como su tasa de fertilización. Asimismo, la especie polinizadora maximiza su acceso al néctar (el alimento). Por ejemplo, la orquídea de Darwin (*Angraecum sesquipedale*), con una corola impresionante de casi 30cm, es polinizada por una mariposa con una espiritrompa de aproximadamente el mismo tamaño.

Es importante resaltar que la coevolución ocurre en muchos niveles jerárquicos en la biología y no solamente entre especies: la vida misma se originó por la coevolución de moléculas relacionadas por rutas metabólicas; asimismo, los procesos celulares coevolucionan - como lo demuestran estudios donde los niveles de expresión de proteínas que interactúan varían de un modo concertado a medida que ciertas especies se diferencian en otras. Incluso los principales organelos celulares, las mitocondrias y los cloroplastos, coevolucionaron con sus “hospederos”, transfiriendo genes de su genoma al genoma de su hospedero; quien, a su vez, prescindió de su maquinaria genética para la producción de energía y/o de la fotosíntesis. La coevolución también puede ocurrir entre genes y cultura, como por ejemplo, en el caso de la expansión de la tolerancia a la lactosa en los humanos, después de que ocurriera la domesticación de las ovejas, cabras y ganado: el patrón de expansión geográfica de la variante del gene (alelo) que permite la tolerancia a la lactosa (es decir la correcta digestión de la lactosa en los adultos) coincide con el patrón de riqueza de alelos del ganado para producir proteínas relacionadas con la producción de leche y aún con la distribución de las sociedades pastoriles del Neolítico. Lo que sugiere que las ventajas en el consumo de la leche actuaron como fuerzas selectivas, influenciando tanto la diversidad genética del ganado (para proteínas relacionadas con la producción de leche) así como en la composición genética de las poblaciones humanas (con expansión de los alelos que permiten la digestión de la lactosa).

Las interacciones coevolutivas pueden terminar en una coexistencia estable entre las especies, pero también en la extinción de una de ellas (sobre todo en las relaciones de parasitismo o depredador-presa). Una de las especies puede llevar a la extinción de la otra fácilmente, a menos de que su propia existencia dependa de la otra. No hay ninguna garantía de que ambas permanezcan en el “juego”, aunque la mayoría de las interacciones estudiadas hasta ahora son así. Por su parte, la “hipótesis de la Reina roja” intenta explicar el porqué de la constancia en la sobrevivencia de las especies interactuantes. El nombre hace alusión al personaje del cuento “Alicia en el espejo” de Lewis Carroll. Cuando Alicia le preguntó a la Reina por qué a pesar de que corrían tanto no salían del mismo lugar, ésta le contestó: “¡Aquí es necesario correr lo más que se pueda para quedarse en el mismo lugar!”. La analogía con la dinámica de la coevolución es que no importa qué tanto una especie se adapte a la otra, ésta siempre

cambiará en respuesta a los cambios en la primera. Así se mantiene constante la capacidad de sobrevivencia relativa de las dos especies. Otro ejemplo es la oruga de la mariposa monarca (*Danaus plexipus*) y la planta de la cual se alimenta (especies del género *Asclepias*). La planta produce un látex tóxico para las orugas, que han evolucionado cierta resistencia a éste para alimentarse. Además de eso, las orugas evolucionaron un comportamiento particular: antes de comer la planta hacen un corte en la base de las hojas y esperan que el látex escurra, llevándose con él la mayor cantidad de toxinas; de tal manera que al alimentarse, las orugas consumen menos veneno. No se sabe bien cómo fue la evolución de las toxinas de las asclepias o la tolerancia de las orugas, ni tampoco cómo surgió el comportamiento de las orugas antes descrito. Probablemente a lo largo del tiempo el látex de la planta se volvió más tóxico, pero también aumento la tolerancia de las orugas. Las dos especies direccionaron, al menos en parte, la evolución de la otra.

Esta es una de las dificultades en estudiar coevolución: vemos sus efectos en la naturaleza, pero es difícil valorar cómo actúa en las especies. ¡No vemos la carrera en sí, tan solo el empate constante entre los competidores!

CAPÍTULO 11: EVOLUCIÓN DEL VUELO

¿Cómo es posible que un animal que vive en tierra comience a volar?

Por João Pedro Alves Silva, 7º grado, Escuela EB - 2,3 de Agrela

Los estudios demuestran que las aves evolucionaron de los primeros reptiles. Planear fue el primer paso y el segundo el batir de las extremidades. Los hallazgos paleontológicos y el estudio del registro fósil de dinosaurios y esqueletos de aves actuales revelaron semejanzas entre ellos, lo que llevó a concluir que ambos tenían un ancestro común. Ese ancestro común pertenecía al grupo de los dinosaurios (reptiles) – los terópodos – animales muy ágiles, bípedos y que se alimentaban tanto de otros animales como de vegetales. Este grupo vivió en el periodo Cretácico inferior, hace 120

a 130 millones de años (MA). La mayoría de los científicos predijeron que las aves evolucionaron de los dinosaurios terópodos con plumas y, finalmente, encontraron los fósiles que validaron su predicción.

La primera relación, que ya Darwin conocía, encontrada entre las aves y los reptiles fue el *Archaeopteryx lithographica*. Este fósil fue encontrado en una cantera en Alemania, en 1860, con una edad aproximada de 145 MA (periodo Jurásico) y con un esqueleto prácticamente igual al de los terópodos. Hoy en día no hay certidumbre de que el *Archaeopteryx* sea la única especie que dio origen a todas las aves modernas, pero de cualquier forma no hay duda que pertenece a una larga serie de fósiles que explican nítidamente la aparición de las aves modernas. Las características típicas de los reptiles, como una mandíbula con dientes, una cola larga y con huesos, las garras, los dedos separados en el ala y un cuello que se encuentra unido al cráneo por atrás en vez de por abajo, fueron sustituidas por otras, muy semejantes a las de las aves actuales, como tener plumas grandes, un dedo grande oponible en el pie, usado, naturalmente, para que el animal se pose, un cuello unido al cráneo por abajo y un esternón más largo. No ha sido posible esclarecer aún si el *Archaeopteryx* podía volar, a pesar de tener plumas en todo el cuerpo. Pero todo lleva a pensar que sí, por sus plumas asimétricas, como las de las alas de los aviones, que revelan un perfil alar, necesario para un vuelo aerodinámico. Después del *Archaeopteryx* no ha sido encontrado ningún vestigio de otra forma intermedia reptil-ave en muchos años.

Ya en los años 90, una serie de descubrimientos de fósiles de terópodos, en China, con plumas y algunos con piernas largas llenaron la laguna que faltaba entre el *Archaeopteryx* y las aves actuales (plumas en todo el cuerpo que ayudaban a planear y piernas largas que ayudaran a aterrizar). Más aún, un equipo de paleontólogos encontró y describió dos fósiles muy semejantes a los de un ave - uno de ellos es un dinosaurio pequeño con plumas, que duerme con la cabeza recogida, debajo de su extremidad anterior, doblada y semejante a un ala; el otro fósil encontrado es un terópodo hembra que murió mostrando un comportamiento idéntico al de las aves cuando están incubando huevos. A pesar de todo lo que aún no se conoce los estudios paleontológicos muestran así, en

su conjunto, que las aves tuvieron su origen en los reptiles, específicamente los dinosaurios del grupo de los terópodos, y que el *Archaeopteryx* y sus parientes más recientes muestran características semejantes a las aves y a los reptiles.

¿Las gallinas fueron dinosaurios antes?

Por Rita Fonseca, 11º grado, Escuela Secundaria

Infanta D. Maria

La respuesta a esta pregunta es sí. La verdad es que, después de millones de años de evolución encontramos hoy en día en la Tierra primos de los dinosaurios, uno de los cuales son las gallinas. Existen diferentes argumentos basados en la evolución de las especies que apoyan esta teoría.

Comenzando por los argumentos paleontológicos, se descubrió recientemente un fósil de *Archaeopteryx*, un organismo con características tanto de aves como de reptiles. Éste presenta una forma intermedia entre los dos grupos de animales, siendo denominado por los científicos como una forma de transición. Este hallazgo apoya la teoría de que las aves que hoy conocemos derivan de los reptiles. Otra semejanza entre las gallinas y los dinosaurios se desprende de su anatomía. Ambos grupos comparten varias características, como la capacidad de doblar el cuello en forma de S, pelvis amplia, pies con cuatro dedos, aunque solo se apoyan en tres y además que tienen huesos huecos. Estas semejanzas funcionan como un argumento fuerte de que las gallinas evolucionaron a partir de los dinosaurios, manteniendo diversas estructuras en común, que nos permiten relacionar a los dos grupos a través de una serie filogenética.

Además de los argumentos que ya referí, la evolución de la ciencia en las últimas décadas permitió comparar el ADN de la gallina con el de los dinosaurios, llevando al descubrimiento de grandes semejanzas entre ellos. Con la evolución, los dinosaurios fueron adquiriendo características diferentes hasta que llegaron a ser los que nosotros llamamos gallinas. A pesar de que su fenotipo se ha modificado de forma acentuada, sería de esperar que su genotipo (los genes) se mantuvieran semejantes a los

de antaño, a pesar de que algunos genes no se expresaran. Gracias a la evolución científica es ahora posible probar que eso es lo que pasó. Consecuentemente, después de los análisis de varios argumentos a favor de la evolución de los dinosaurios a gallinas, es posible establecer una relación entre los dos y decir con relativa certeza que las segundas evolucionaron de los primeros.

De acuerdo con la teoría aceptada de la evolución, el neodarwinismo, los cambios en el medio habrían desencadenado la evolución de las especies de dinosaurios. Cada vez que ocurría un cambio significativo, los individuos que poseían las características que los volvían más aptos para sobrevivir prosperaban. Así, a través de la selección natural, que llevaba a la reproducción diferencial, se asistía a la sobrevivencia del más apto. De esta forma, ciertas características eran perpetuadas y otras se perdían. En el caso específico de los dinosaurios, éstos no se extinguieron después de la caída del meteorito. Algunos individuos de especies con ciertas características habrían sobrevivido, pues estas características los volvían más aptos al medio nuevo. Con el cambio drástico del ambiente, la evolución de la especie cambió también de forma acentuada. Los más aptos en este ambiente fueron los animales de porte pequeño y herbívoros, principalmente por la escasez de alimento. Es posible que los cambios climáticos, particularmente hacia un ambiente más frío, haya llevado a los individuos que tenían el cuerpo cubierto de plumas, en vez de escamas, se volvieran los más aptos, siendo esta característica perpetuada y acentuada a lo largo de las generaciones. Otros cambios habrían sido la pérdida de la capacidad de volar y la aparición del pico, debidos, por ejemplo, al cambio en el alimento disponible y accesible a partir del suelo y que volvía más aptos a los individuos que no podían volar o que tenían una boca más fina y con mayor número de semejanzas con un pico. Después de numerosos cambios, y con la intervención de muchas mutaciones genéticas favorables (y por eso transmitidas a las siguientes generaciones) y de recombinación genética, los dinosaurios evolucionaron hacia las aves que tenemos hoy en día en el planeta Tierra, en particular hacia la gallina.

Por Gonçalo Espregueira Themudo

*Centro Interdisciplinario de Investigaciones Marinas y Ambientales (CIIMAR/CIMAR),
Universidad de Porto & Centro de GeoGenética, Museo de Historia Natural de Dinamarca,
Universidad de Copenhague*

Se conocen cuatro grupos de animales que evolucionaron la capacidad de volar: la subclase de insectos Pterygota, los Pterosaurios, las Aves y los Murciélagos. Sin embargo, no todos partieron, por lo menos directamente, de la tierra para comenzar a volar, explicaremos cómo se piensa actualmente que ocurrió la transición hacia el vuelo. El vuelo no apareció de un día para otro. No fue una gallina prehistórica que cansada de caminar, decidió un día que quería volar y transformó sus brazos en alas. El proceso fue lento y resultó en cambios graduales en la anatomía de los miembros a lo largo de centenas de generaciones. El modo exacto en que surgió el vuelo en los diferentes grupos no se conoce con certeza, pero hay varias hipótesis, cada cual con su mérito.

La capacidad de volar surgió por primera vez en los insectos del suborden Pterygota hace 350 millones de años. Son los únicos invertebrados (animales sin columna vertebral) que tienen capacidad de vuelo. El origen del vuelo en los insectos se sale un poco del tema ya que es posible que los antepasados de los insectos con alas no vivieran en la tierra, sino en el agua. Aun así, es curioso ver cómo se modificaron estructuras diferentes en grupos diferentes para llegar a soluciones semejantes. Los apéndices que más tarde se volverían las alas que conocemos eran posiblemente usados como un auxiliar en el desplazamiento sobre la superficie del agua, un poco como las velas de un barco; o como paracaídas cuando los animales caían de los árboles. Estos apéndices a su vez evolucionaron posiblemente a partir de branquias móviles, o sea, apéndices que tenían la capacidad de moverse, ligados a músculos; o apéndices localizados en los miembros de los insectos. Es decir, todo el equipo necesario estaba ya presente de forma rudimentaria y fue reusado posteriormente para facilitar el vuelo. Los otros animales que desarrollarían la capacidad de volar son todos vertebrados (los que tienen columna vertebral). Tres grupos evolucionaron de forma independiente la capacidad de volar: los pterosaurios (ahora extintos), las aves y los murciélagos. Algunos de ellos no pasaron directamente del suelo al aire, sino que subieron primero a los árboles. Es probable que estos animales hayan podido planear antes que volar. La diferencia entre planear y volar es que en el primer caso un animal sólo necesita sostenerse en el aire un poco más de tiempo que cuando se cae libremente, como cuando se lanza un avión de papel. Por su parte, el vuelo implica algún método de propulsión y mayor capacidad de maniobra. Las dos hipótesis para el origen del vuelo son comunes a los tres grupos: la hipótesis de los animales corredores y la arbórea.

Cuando se descubrieron los primeros fósiles de pterosaurios (que quiere decir “lagartos con alas”) en el siglo XIX, se pensaba que no eran capaces de volar, sólo de planear, mayormente debido al gran tamaño de algunos ejemplares (uno de los pterosaurios más grandes, el *Quetzalcoatl*, podría llegar a pesar 250 Kg y tener una envergadura de alas de 11 metros). Pero ahora los científicos están de acuerdo en que sí: incluso los pterosaurios de mayor tamaño podían volar. Como el registro fósil es bastante limitado, no se sabe quiénes son los parientes

cercanos de los pterosaurios, lo que podría contribuir con más pistas sobre cómo surgió el vuelo en estos dinosaurios. Los pterosaurios volaban moviendo membranas alares que unían los miembros anteriores (los de adelante) con los posteriores (los de atrás), que eran controladas por el quinto dedo de los miembros anteriores, el cual era extremadamente largo comparado con los otros dedos. Hay desacuerdo en relación al modo en cómo los pterosaurios levantaban el vuelo, si corrían en cuatro patas y se lanzaban a volar, tal vez en una pendiente de bajada; si corrían en dos patas y comenzaban a batir las alas antes de levantar el vuelo, como las aves; o si tenían que trepar a los árboles para entonces lanzarse desde ahí. Investigadores del Reino Unido sugirieron en 2010 que estos animales eran capaces de levantar el vuelo sin necesidad de grandes carreras, usando los miembros anteriores como palanca, así como un atleta usa su pértiga para levantarse algunos metros del suelo; y después, usando los poderosos músculos de sus alas, empezar a volar inmediatamente.

A su vez, los antepasados de los murciélagos posiblemente ya tenían membranas que unían sus dedos, pero no las utilizaban para volar, sino para saltar y planear entre los árboles. Las adaptaciones de las extremidades que permiten que un animal planee son relativamente comunes, pues se conoce en algunos mamíferos, reptiles y anfibios actuales. El paso de sólo planear a tener un vuelo sostenido es un proceso un poco misterioso, pero puede estar ligado de alguna manera al desarrollo de otra innovación evolutiva de los murciélagos; la llamada eco-localización, que es la comunicación por ultrasonidos y que en algunos grupos permite inclusive que los murciélagos localicen a sus presas en la oscuridad.

En las aves, una de las hipótesis sobre el origen del vuelo es que sus antepasados comenzaron a batir los miembros anteriores como un modo de facilitar su ascenso en pendientes pronunciadas, un poco como nosotros movemos los brazos para levantarnos del sofá. Los animales con miembros anteriores más grandes tenían mayor facilidad para subir colinas, lo que les permitía descubrir comida en lugares más alejados, lo que a su vez les permitiría tener más descendencia que heredara esas extremidades grandes. Los parientes más cercanos de las aves son los dinosaurios terópodos (“patas de bestia”), un grupo de animales que apareció por primera vez en el Triásico y que incluye al que quizá es el dinosaurio más famoso de todos: el *Tyrannosaurus rex*. Ya que las aves son descendientes de estos dinosaurios, muchos paleontólogos incluyen a las aves en los Theropoda, lo que significa que se puede considerar a las gallinas y todas las especies de aves que conocemos actualmente no sólo descendieron de ellos, sino que, de hecho, son dinosaurios. Varios fósiles de dinosaurios terrestres bípedos que han sido descubiertos en las últimas décadas indican que estaban cubiertos de plumas, o por lo menos de estructuras semejantes a éstas. Esto no sólo sugiere que el origen de las plumas es anterior a la capacidad de volar, y por consecuencia, de las aves; sino que también apoya la relación entre las aves y los dinosaurios.

CAPÍTULO 12: EVOLUCIÓN DE LAS AVES QUE NO VUELAN

Los pingüinos son aves marinas pero no vuelan, ¿por qué?

*Por Ana Rita Salgado Artur, 11º grado, Escuela Secundaria
Infanta D. Maria*

Según el lamarckismo, el ancestro sería un ave terrestre, todas estas aves no necesitaban ir al mar. Hubo una alteración del medio en el que vivían, pasando éste a ser acuático. Para evitar morir, las aves sintieron la necesidad de nadar, para alimentarse. Para nadar, no necesitaban volar. De este modo, su alas se atrofiaron, siendo cada vez más pequeñas y desempeñando la función de aletas (Ley del uso y del desuso). Esta nueva característica - las alas pequeñas - fue transmitida a la descendencia (Ley de los caracteres adquiridos).

Por otro lado, el darwinismo sostiene que una población ancestral fue terrestre. En esa población había variabilidad, o sea, pingüinos con alas atrofiadas, más pequeñas, y pingüinos con alas desarrolladas. En esa población, los pingüinos competían para sobrevivir. Con la necesidad de alimentarse en el mar, los pingüinos cuyas alas estaban atrofiadas y desempeñaban la función de aletas tenían ventaja sobre los otros, porque se alimentaban y huían de los depredadores más fácilmente. Eran por lo tanto los más aptos, entonces los más adaptados, sobrevivían más fácilmente y tenían mayor oportunidad de reproducirse (sobrevivencia y reproducción diferenciales). Ocurrió así una selección natural de los más aptos, que aumentó de generación en generación el número de individuos con las alas atrofiadas. Con el tiempo, ocurrió una transformación en la población, siendo que los pingüinos actuales tienen las alas atrofiadas.

De acuerdo al neodarwinismo, la población ancestral sería terrestre. En esa población había variación en las formas, o sea, pingüinos con alas atrofiadas, más pequeñas, y pingüinos con las alas desarrolladas. Esta variación de

formas resulta de haber variabilidad genética, causada por mutaciones o como resultado de la recombinación genética durante la meiosis o la fecundación. En esa población, los pingüinos competían para sobrevivir. Con la necesidad de alimentarse en el mar, los pingüinos cuyas alas estaban atrofiadas y desempeñaban el papel de aletas tenían ventaja sobre los otros, porque se alimentaban y huían de los depredadores más fácilmente. Eran por lo tanto los más aptos, entonces lo más adaptados, sobrevivían más fácilmente y tenían mayor oportunidad de reproducirse (sobrevivencia diferencial). Ocurrió así una selección natural de los más aptos, que aumentó de generación en generación el número de individuos con las alas atrofiadas, o sea, aumentó la frecuencia de los genes responsables de esta característica. Con el tiempo, hubo una transformación del acervo genético de la población, siendo así que los pingüinos actuales tienen alas atrofiadas, no pueden volar, pero son nadadores excepcionales que pasan la mayor parte del tiempo en el agua.

Por Ricardo J. Pereira

Instituto Scripps de Oceanografía, Universidad de California en San Diego

La evolución puede ser definida como descendencia con modificación, ya que los caracteres hereditarios van siendo modificados a lo largo de generaciones sucesivas. Como Ana Rita lo explica en su texto, la herencia de estos caracteres es uno de los principios transversales de las varias teorías evolutivas, desde el lamarckismo hasta el neodarwinismo. La evidencia más clara de descendencia con modificación es la existencia de estructuras homólogas. Esto es, estructuras que tienen el mismo origen o estructura básica, pero que pueden desempeñar funciones diferentes. Uno de los ejemplos más emblemáticos de estructuras homólogas es la anatomía interna de las extremidades de los mamíferos. El caballo, el humano, la ballena y el murciélago utilizan sus extremidades anteriores en formas de locomoción diferentes. A pesar de tener diferente función, las extremidades de todos estos mamíferos tienen un número de huesos semejante y en la misma posición relativa, por haber derivado de la misma estructura embrionaria. La existencia de estas estructuras homólogas sólo puede ser explicada por la existencia de un ancestro común de todas estas especies de mamíferos y por la adaptación consecuente a hábitats y funciones diferentes.

La función de las alas de los pingüinos con respecto a las demás aves también es un ejemplo de estructuras homólogas. Las alas de los pingüinos comparten la misma estructura interna y desarrollo embrionario de otras aves, sugiriendo que el ancestro del pingüino era un ave no

marina y probablemente voladora. La transición del medio terrestre al medio marino llevó a una serie de adaptaciones al nuevo hábitat, en particular a una forma de locomoción diferente. Como resultado, los pingüinos modernos presentan alas rudimentarias más semejantes a las aletas de otros animales marinos, las cuales les permiten nadar más de 500 metros de profundidad y explorar recursos que no son disponibles para otras aves. Más que la pérdida de la función del vuelo, las alas de los pingüinos son un ejemplo claro de cómo una estructura ancestral evolucionó para asumir una nueva función y permitir la adaptación a nuevos hábitats.

CAPÍTULO 13: EVOLUCIÓN DE LOS COCODRILOS

¿En qué cambiaron los cocodrilos prehistóricos a los presentes?

Por Valeria Incapie Zendejas, 7º grado, Colegio Marymount

Los cocodrilos vienen de los Arcosuarios o los reptiles predominantes, a partir de ese grupo de animales evolucionaron otros tres: los Pterosaurios en el aire, los dinosaurios de tierra firme y cocodrilos en ríos y pantanos. Los científicos piensan que sobrevivieron porque resisten los cambios. Si su hábitat se hace no tolerable, se aletargan bajo el barro e incluso bajo el agua. Los cocodrilos han sobrevivido porque comen de todo y viven más o menos en todas partes.

Los cocodrilos prehistóricos eran casi seguro de sangre fría; si se calentaban demasiado abrían y abren la boca para que se les refresque la lengua y casi no gastaban energía y comían una presa a la semana. Los cocodrilos no pueden masticar porque no tienen dientes filosos que corten, tienen tácticas para destrozarse al animal que no pueden masticar.

Los cocodrilos son los dinosaurios que viven en el presente. *Deinosuchus* fue el cocodrilo más grande, medía 15 metros, pero había cocodrilos mucho más pequeños, llamados Atoposáuridos. El cráneo del cocodrilo es casi

igual que el cocodrilo prehistórico, en cambio sus cuerpos sí evolucionaron por su estilo de vida acuática, el cambio más importante de los cocodrilos fue el paladar. Hacían filtración del agua por las vías nasales. Ahora los cocodrilos son más pequeños y tienen otro tipo de adaptaciones.

Por Sara Rocha

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

Los cocodrilos son un grupo de reptiles que, a pesar de su aspecto, están más relacionados evolutivamente con las aves que con otros reptiles como las tortugas o las lagartijas. Por lo tanto, los reptiles son un grupo parafilético; es decir, un grupo que no incluye a todos los descendientes de su ancestro común (en este caso, las aves). A su vez, las aves y los cocodrilos forman un grupo llamado los Arcosaurios. El registro fósil indica que el ancestro común de todos los Arcosaurios existió hace unos 250 millones de años (MA), durante el Periodo llamado Pérmico, el inicio de la “era de los reptiles”. Sin otros depredadores, estos reptiles primitivos - los “arcosauromorfos” - se dispersaron por la Tierra y se diversificaron, ocupando casi todo tipo de hábitats y nichos ecológicos (acuáticos, terrestres, herbívoros, carnívoros, etc.). Se conocen algunos fósiles muy antiguos, como el *Proterosuchus* (de hace unos 240 MA), que probablemente tenía la apariencia de un cocodrilo actual, con mandíbulas alargadas, músculos muy poderosos, piernas cortas y cola larga. Otros ejemplos incluyen a *Trilophosaurus*, que era un herbívoro de casi 2.5 metros y los Rincosaurios, un grupo de varias especies también herbívoras, cuya característica más distintiva es el hocico corto y dientes modificados formando un fuerte pico.

Más tarde, hace unos 225 MA, se separaron los dinosaurios y los cocodrilos primitivos (o “cocodrilomorfos”). Ambos grupos produjeron muchas especies, con formas y ecología muy diferentes y que dominaron la Tierra durante varios millones de años durante el Triásico, el Jurásico y parte del Cretácico: la plenitud de la era de los reptiles. Posteriormente todos los dinosaurios se extinguieron (las aves son sus parientes más cercanos y sus únicos descendientes vivos); sin embargo, algunos linajes de cocodrilos sobrevivieron hasta la actualidad. En nuestros días, cuando pensamos en cocodrilos no los asociamos con la palabra “diversidad”, pero el registro fósil (que nos permite saber también cuándo vivieron sus especies) revela que existieron cocodrilos “corredores” de patas largas; cocodrilos marinos, capaces de inmersiones prolongadas y profundas; cocodrilos del tamaño de perros chihuahua y también del tamaño de un *Tyrannosaurus rex*; así como carnívoros voraces y también herbívoros.

Se sabe que los cocodrilos más primitivos (del Triásico) serían especies de tamaño pequeño y de hábito terrestre, muy diferentes a los cocodrilos actuales. Tenían entonces patas y colas largas y cuerpos delgados más o menos del tamaño de un perro grande; tal es el caso de *Hesperosuchus*. Probablemente eran buenos corredores y se alimentaban de insectos y otros

animales pequeños. Como siempre, hay excepciones: se conoce también un fósil de este periodo, clasificado como un cocodrilo que fue muy grande, con un cráneo con mínimo 60cm. Se piensa que ocupaba el nicho que tiempo después ocuparían otros grandes depredadores en la era de los dinosaurios.

Con la extinción masiva entre los periodos Triásico y Jurásico, la cual diezmo una gran parte de la vida en la Tierra, una gran parte de los grupos antes mencionados se extinguió; dejando lugar a los dinosaurios, que dominaron los nichos terrestres. En ese tiempo surgieron las formas marinas y de agua dulce que constituirían a la mayoría de los cocodrilos primitivos del Jurásico. Algunas especies, como los *Metriorhynchus*, desarrollaron extremidades en forma de aletas y colas semejantes a los peces actuales, con una apariencia parecida a los delfines de hocico alargado. Otro grupo, cercano al anterior, los *Dakosaurus* (que significa “lagarto mordedor”), tenían un cráneo enorme y compacto, con mandíbulas fuertes, probablemente adaptadas para comer otros grandes reptiles marinos y hasta voladores, como algunos dinosaurios. Se sabe que tenían entre 4 y 5 metros de largo y su función ecológica sería parecida a la de las ballenas asesinas actuales. Durante el Jurásico, el Cretácico y el Terciario se originó una gran diversidad de formas terrestres, semiacuáticas y acuáticas. Algunas formas (como los géneros *Simosuchus*, *Chimeraesuchos* y *Malawisuchus*) evolucionaron hacia la herbivoría, mientras que otros linajes (como *Sebecus*) se volvieron predadores terrestres.

Todas estas formas se fueron extinguiendo, particularmente hacia el final del Cretácico (como también pasó con los dinosaurios) y es justamente en ese entonces que surgen los parientes más cercanos de los cocodrilos “modernos”: los Eusuchia, a los cuales pertenece el orden de los Crocodilia. En este orden se ubican todos los “cocodrilos” que existen actualmente: los cocodrilos (familia Crocodylidae), los caimanes (o yacarés, de la familia Alligatoridae) y el gavial de Ganges (familia Gavilidae). El gavial de Ganges es una especie de agua dulce, con un hocico largo y estrecho y casi nunca abandonan el agua. Los miembros de la familia Crocodylidae se reconocen por su mandíbula en forma de “V”, porque los dientes de la mandíbula inferior están expuestos y tienen órganos sensoriales a lo largo de todo el cuerpo. Los caimanes tienen un hocico más redondo que los cocodrilos y los dientes nunca son visibles cuando tienen cerrado el hocico. En total, son cerca de 23 especies de depredadores acuáticos. Entre ellos se encuentra el reptil más grande sobre la Tierra actualmente, *Crocodylus porosus*, que vive en el sureste asiático y al norte de Australia y puede llegar a medir más de 6 metros y pesar más de 1,000 Kg. Aun así, estas especies representan apenas una pequeñísima fracción de la diversidad que hubo en este grupo.

CAPÍTULO 14: EVOLUCIÓN DE LAS ANGUILAS ELÉCTRICAS

.....

¿Cómo es que las anguilas eléctricas evolucionaron hasta producir descargas eléctricas tan elevadas?

Por Eduarda Sá Marta, 11º grado, Escuela Secundaria Infanta D. Maria

Parece incomprensible cómo ciertos seres marinos como la anguila eléctrica (*Electrophorus electricus*, Linneo, 1766) poseen el poder fascinante de producir descargas eléctricas elevadas que pueden llegar a los 650 Volts, capaces de inmovilizar animales de tamaño muy superior al de estos peces eléctricos. Al Hombre siempre le fue negada esta capacidad, pudiendo apenas idealizar héroes y hasta figuras míticas que pudieran generar electricidad con la mayor de las facilidades. Siendo así, ¿cómo se puede entonces justificar esta intrigante característica de las anguilas eléctricas?

En primer lugar, tal vez la capacidad de controlar la electricidad no esté así tan lejos del alcance de otros seres vivos, incluyéndonos. El cerebro de los humanos, así como todo su sistema nervioso, es recorrido por innumerables impulsos eléctricos en cada fracción de segundo, constituyendo estos últimos verdaderos ejemplos de fenómenos bioeléctricos. Éstos ocurren no solamente en los humanos y animales con cerebros evolucionados, sino también en muchos otros y variados seres, incluyendo igualmente órganos con otras funciones. Suponiendo un origen común relativo a los impulsos eléctricos que ocurren en las anguilas eléctricas y en otros seres vivos, sería justificable admitir la posibilidad de que esta característica tan singular fuera seleccionada, gradualmente a lo largo de las generaciones, entre los individuos de esta especie.

Uno de los fundamentos más significativos debió ser el ambiente competitivo y lleno de peligros en que especies como las anguilas eléctricas habitaron a lo largo de su existencia. Las anguilas eléctricas pueden ser encontradas en las aguas de la Amazonia y en el río Orinoco, donde

habitan las especies más diversas y exóticas. Entonces no es de extrañar cómo un animal aparentemente tan inofensivo como la anguila eléctrica puede sobrevivir en ambientes tan hostiles. De hecho, la anguila eléctrica tiene otras características peculiares, por ejemplo los machos suelen tener un tamaño más pequeño que las hembras. Además de eso, los individuos de esta especie no tienen escamas, deben emerger a la superficie cada diez minutos por oxígeno y, en principio, su cuerpo blando y delgado no representa ninguna amenaza para cualquier otra especie. ¿Cómo podrían sobrevivir en este mundo salvaje individuos con tales características? De hecho, lo que esta especie podría exactamente necesitar es un simple recurso de las potencialidades del sistema nervioso, utilizando impulsos eléctricos que atraviesan los nervios para inmovilizar a otros seres vivos. Desde la perspectiva darwinista, los individuos que privilegiaran ese uso y/o tuvieran nervios más desarrollados en conjunto con la superficie corporal, serían los más aptos dadas las condiciones del medio ambiente (entonces se podrían defender más fácilmente) y originarían más descendencia, ocurriendo reproducción diferencial. Todas estas diferencias, observadas ahora a la luz del neodarwinismo, resultarían de la variedad intraespecífica, fruto de mutaciones y de la recombinación genética, que son innegablemente claves para la evolución de las especies

Hoy en día, las anguilas eléctricas poseen varios órganos que producen electricidad, constituyendo éstos prácticamente el 80% del cuerpo de cada individuo. Tales potencialidades permiten a estos peces ahuyentar a sus enemigos, cazar más eficientemente y hasta comunicarse con otros de su misma especie. Estos animales son extraordinarios al punto de que sus descargas eléctricas pueden volverse fatales incluso para los humanos. Las capacidades extraordinarias son variaciones de mecanismos preexistentes, inicialmente simples y que de forma gradual dieron origen a las características más fantásticas que contribuyen a la enorme biodiversidad que nos rodea. Hay que agradecer mucho a los científicos que contribuyeron y a los que aún hoy contribuyen al conocimiento de nuestro mundo, pues de esa forma también el Hombre tendrá la oportunidad de conocerse a sí mismo.

Por Brian Urbano Alonso

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Uno de los aspectos más interesantes de la teoría de la evolución es la sencillez de sus principios. Para explicar el caso de las anguilas necesitamos explicar primero la variación entre individuos y la sobrevivencia diferencial entre ellos. Podemos usar como ejemplo a los mamíferos, aunque los principios aplican a todas las especies. Es importante recalcar que los fenómenos adquieren importancia evolutiva cuando le pasan a varios individuos de una población. Algunos mamíferos pueden tener varios hijos al mismo tiempo (camada). Algunos cachorros de la camada pueden ser más grandes que otros, llorar diferente, tener mejor olfato y encontrar más rápido a su madre para comer; todo eso puede hacer que algunos tengan más posibilidades de sobrevivir y otros mueran. Esta sobrevivencia diferente se mantiene a lo largo de su vida; cuando crecen los cachorros van a persistir aquellos que se puedan esconder de sus depredadores, atrapar más presas o resistir el clima. Algunas de las características que heredaron de sus padres les permiten sobrevivir y llegar a reproducirse más saludables y tener hijos. Entonces la característica ventajosa puede pasar de una generación a la siguiente. Cuando las características transmitidas así le da ventajas a los individuos que las poseen, se dice que es una adaptación. Es importante recalcar que hay varias características de los organismos que no son adaptaciones. Algunas características pueden ser adaptaciones del pasado, pero no todo tiene o tuvo una función adaptativa. Las plantas necesitan luz para vivir y la mayoría son de color verde y sucede que la forma en la que toman la luz de sol la mayoría de las plantas hace que las veamos verdes, pero si fueran de otros colores y pudieran aprovechar la energía solar, sobrevivirían, el color verde no es una adaptación, sino una consecuencia de otro proceso.

Ahora bien, la electricidad es una forma de la energía ampliamente usada por los seres vivos. La usamos para muchas cosas: impulsos neuronales, movimiento de los músculos y control de la membrana celular. El movimiento de soluciones con cargas positivas y negativas a través de los poros de la membrana puede generar electricidad. Cuando este movimiento ocurre en muchas células y éstas actúan en conjunto, el movimiento de esas soluciones puede generar un voltaje, justo como el que mantiene a nuestro corazón latiendo. La capacidad de generar y percibir electricidad se denomina electrocepción y actualmente se conocen unas 500 especies de peces que tienen la capacidad de generar descargas eléctricas de manera continua y/o hacer una sola descarga de una gran potencia. Esta capacidad de generar electricidad en los peces es una adaptación y lo sabemos porque aumentan la sobrevivencia y capacidad de reproducción de sus portadores. Los impulsos eléctricos de los peces pueden ser usados para varias cosas: detectar depredadores, presas, parejas o como sistema de localización en aguas turbias.

El pez eléctrico más conocido es el *Electroporus electricus* (Linnaeus, 1766) o anguila eléctrica. En realidad no es una anguila; este pez pertenece a la familia Gymnotidae o a los llamados peces cuchillo, pero por su forma alargada la gente los llama anguilas. Es un pez con pulmones en lugar de branquias y tiene que salir a respirar a superficie constantemente. La especie es exclusiva de Sudamérica (en los ríos Amazonas y Orinoco), aunque hay especies relacionadas que viven en toda América. Este animal puede generar descargas de hasta 500

Volts (V), aunque hay registros de 2,000V, pero sólo en condiciones de laboratorio (para que te des una idea los aparatos eléctricos de tu casa pueden estar conectados a una línea de 110 o 220V dependiendo del país donde vivas).

La capacidad para generar esta cantidad de energía proviene de un tejido de origen muscular distribuido a lo largo de toda la parte ventral de la anguila y que se llama *electroplax*. En este caso los individuos que tenían este tipo de tejido sobrevivieron más y tuvieron más hijos que aquellos individuos que no lo tenían o lo tenían en baja proporción. Al paso de las generaciones, algunas poblaciones completas generaban energía, de tal forma que si ahora vemos a cualquier individuo de la especie encontramos esa característica, aunque seguramente sigue existiendo variación entre ellos (así es como opera la selección natural). Las especies de peces cercanas de esta familia generan diferentes descargas de energía. En algunos lugares los que tienen descargas más fuertes pueden sobrevivir menos que los que tienen descargas débiles, así que las condiciones por las que algunas características resultan mejores o peores para sobrevivir dependen de la diferencia que hay entre los individuos y del ambiente en donde vivan. Todo depende de los que llamamos presión de selección (en este caso cualquier cosa que permitiera que la capacidad de generar electricidad resultara una ventaja, por ejemplo defensa contra los depredadores, señales a las parejas potenciales en aguas turbias o atrapar a presas muy rápidas) los organismos que tenían mayor tamaño en el electroplax tuvieron una mayor sobrevivencia y sus características se heredaron a las siguientes generaciones. Este parece ser entonces un caso típico de selección natural positiva. El punto es que usando solamente la variación entre individuos y la sobrevivencia diferencial podemos explicar la aparición de muchas características complejas como es el caso del electroplax que permite a las anguilas generar potentes descargas eléctricas.

CAPÍTULO 15: EVOLUCIÓN DE LOS INSECTOS

¿Por qué los insectos disminuyeron de tamaño?

Por Luis David Trevino Olvera, 7º grado, Colegio Marymount

Hace 400 millones de años aparecieron los primeros insectos, sin embargo, en el periodo Pérmico existían insectos que llegaron a medir entre 40 y 75cm. ¿Qué provocó que los insectos disminuyeran de tamaño? Se cree que los insectos

fueron poco a poco disminuyendo de tamaño por dos razones: número uno por la falta de oxígeno. Antes el oxígeno presente en la atmósfera era de un 30% y los insectos tenían un gran tamaño. Los científicos han propuesto que la disminución del oxígeno en la atmósfera a los niveles actuales, de tan solo un 21%, provocó la drástica disminución en tamaño de los insectos. Otra teoría propone que debido a la aparición de las aves cuyo principal alimento eran los insectos hizo que estos fueran obligados a conseguir más agilidad para no ser atrapados y devorados por las aves. Por lo tanto, los insectos evolucionaron disminuyendo su tamaño para adquirir más rapidez. Aunque ambas hipótesis son posibles ninguna de las dos ha sido confirmada. Hasta el día de hoy, la hipótesis más creíble es aquella en la que los insectos disminuyeron de tamaño por tener que sobrevivir a las no completamente adaptadas aves de aquel entonces y al disminuir de tamaño era más fácil ocultarse. Sin embargo, la otra teoría también podría ser correcta, porque con la estimación del oxígeno que había en aquellos tiempos se darán cuenta que el oxígeno ha disminuido 9% y los insectos necesitan oxígeno, igual que nosotros, y, al ir disminuyendo el oxígeno en la atmósfera debido al incremento de seres vivos sobre la Tierra, los insectos fueron obligados a disminuir su tamaño para sobrevivir. Entonces basado en la explicación anterior, yo creo que la hipótesis más razonable es la de los insectos disminuyeron de tamaño a causa de las aves. Explicaré por qué, yo creo que esta es la teoría correcta porque los animales se adaptan para sobrevivir y esto fue lo que hicieron para adaptarse al disminuir de tamaño porque eso los hacía más rápidos y se podían ocultar fácilmente de sus depredadores (aves), eso hizo que las aves también cambiaran de técnicas para atrapar a los insectos, pero los insectos también encontraron lugares poco accesibles como dentro de un árbol, quizás bajo tierra, etc.

Por Ângela M. Ribeiro

*Centro Interdisciplinario de Investigaciones Marinas y Ambientales (CIIMAR/CIMAR),
Universidade de Porto*

Hace cerca de 300 millones de años (MA), en los Periodos Carbonífero Inferior y Pérmico Superior, el planeta Tierra tenía habitantes excepcionales: insectos gigantes. Los insectos,

durante su historia evolutiva (el fósil más antiguo data del Devónico Medio), alcanzaron tamaños diez veces más grandes que los actuales. Por ejemplo, la evidencia fósil muestra que algunas libélulas tuvieron una envergadura de alas de cerca de 70cm, comparada con la del cernícalo común (*Falco tinnunculus*) o, de una forma más inmediata, del tamaño de tres palmas de un humano adulto.

El tamaño corporal es una de las características de los animales que más han fascinado a los biólogos, como se puede constatar en un artículo publicado en 1926 por Haldane. Más específicamente, cuáles son los motivos por los cuales los insectos que un día fueron gigantes, con respecto a las proporciones actuales, decrecieran de tamaño es una pregunta que ha intrigado a los biólogos evolutivos por décadas. El argumento más utilizado para explicar este patrón atribuye el tamaño gigante a las condiciones de hiper oxidación de la paleo-atmósfera (ver, por ejemplo, el trabajo desarrollado por Harrison y colaboradores). Se estima que la cantidad de oxígeno en la atmósfera era 30-50% superior al actual, lo que por consecuencia había vuelto hiper densa a la atmósfera. El mecanismo de respiración en los insectos es controlado activamente. Al contrario de los vertebrados, en que la sangre transporta el oxígeno desde los pulmones a los tejidos, los insectos tienen un sistema circulatorio abierto, y por lo tanto, el oxígeno necesario para el metabolismo celular es canalizado directamente a los tejidos por una red compleja de túbulos, las tráqueas. La demanda energética, y también de oxígeno, de un insecto gigante sería elevada, y sólo suministrada en condiciones de hiperoxia. Al mismo tiempo, la atmósfera hiper densa facilitaba la aerodinámica de los insectos alados, o sea, hacía que el gasto energético asociado al vuelo fuera menor.

Aunque los insectos adultos sean terrestres, muchos de ellos pasan por una fase larvaria acuática en la que la respiración se lleva a cabo por difusión a través de la cutícula, sin que haya un control activo del influjo del oxígeno. Aunque sea esencial para la vida, el oxígeno en concentraciones elevadas puede volverse nocivo. Tal y como la atmósfera, el medio acuático prehistórico tendría una concentración elevada de oxígeno. Por lo tanto, si durante la ontogenia de los insectos primitivos había una fase larvaria, un mecanismo posible para controlar la toxicidad causada por este gas sería aumentar de tamaño, de forma que la razón área/volumen corporal decreciera y entonces disminuyera el movimiento pasivo de oxígeno, lo que implicaría un aumento de tamaño del insecto adulto.

Más allá de las propuestas conceptuales, percibir de qué forma es que la variación en la concentración de oxígeno afecta el tamaño de los organismos implica la implementación de pruebas formales; o sea, pruebas que involucren la manutención de insectos en un sistema cerrado, permitiendo la manipulación de las concentraciones de oxígeno durante varias generaciones y midiendo el tamaño corporal. Aunque escasos, estos experimentos muestran que la variación en la concentración de oxígeno afecta la tasa de metabolismo, la tasa de crecimiento, el estrés oxidativo y el tiempo de desarrollo y, en conjunto, han contribuido al desarrollo de un modelo sobre cómo el factor abiótico “concentración de oxígeno” puede haber afectado la evolución del tamaño en los insectos. La hipótesis abiótica “concentración de oxígeno” fue recientemente encausada por Clapham y Karr. Los autores reunieron datos sobre el tamaño de las alas en los insectos (más de 10,500 alas de insectos fosilizados) para probar la correlación entre los niveles de oxígeno atmosférico y el tamaño de los insectos a lo largo

de la historia de estos animales. Este trabajo denota que el tamaño máximo de los insectos y la variación del oxígeno atmosférico están correlacionados hasta el fin del Periodo Jurásico, hace unos 140 - 130 MA. A pesar de que la atmósfera continuó siendo híper oxidante, a partir del Cretácico Inferior esa correlación cambió: el tamaño de los insectos comenzó a disminuir. Otra versión en la tendencia del tamaño se observa al final del Periodo Cretácico (90 - 60 MA hacia el pasado). Por lo tanto, la hipótesis “disponibilidad de oxígeno” deja de ser suficiente para explicar la drástica reducción de tamaño observada en los insectos. Es interesante notar que los Periodos arriba mencionados coinciden con dos eventos importantes en la evolución de las aves: primeramente, la aparición de los linajes basales (por ejemplo: la primera ave, *Archaeopteryx*, data de 150 MA) y, después, las radiaciones de las Neoaves (las aves modernas, excepto las Galliformes y Anseriformes) y los Passeriformes. Además de la radiación de las aves modernas, también la evolución de los murciélagos (hace cerca de 70 MA) puede haber sido relevante en la reducción del tamaño.

Los elevados niveles de oxígeno en el Mesozoico Tardío habrían facilitado la aerodinámica y desempeño del metabolismo energético de las aves ancestrales. Los insectos gigantes tuvieron que enfrentar competidores con un tamaño y maniobrabilidad sin precedente. Las aves vinieron a ocupar los nichos ecológicos hasta entonces exclusivos de los insectos, ocasionando un desplazamiento de nicho. Más aún, es posible que las aves y los murciélagos, tal como ocurre en la actualidad, hayan sido predadores de los insectos. Los insectos con menor tamaño tendrían una mayor facilidad para escapar de los depredadores alados que vinieron a ocupar los cielos a partir del Jurásico Superior. El aumento de la concentración de oxígeno habría determinado la frecuencia de fenotipos particulares a través de mecanismos fisiológicos y biomecánicos; todavía, para que entendamos por qué el tamaño de los insectos decreció no sólo hay que considerar el factor abiótico “concentración de oxígeno atmosférico” sino también los factores bióticos “competencia y depredación”. Responder a la pregunta “¿por qué los insectos disminuyeron de tamaño?” requiere la integración de conocimientos de la paleontología, la geología, ecología, fisiología y evolución. Sólo así podremos entender los mecanismos detrás de este patrón biológico, y al mismo tiempo vislumbrar los motivos de la diversidad de tamaños que podemos observar en la fauna actual.

CAPÍTULO 16: EVOLUCIÓN DEL CABALLO

¿Cómo nos damos cuenta que los caballos han evolucionado?

Por Carolina Borja Valarde, 7º grado, Colegio Marymount

Los primeros equinos tenían cuatro dedos en cada extremidad de sus miembros anteriores, y solo tres extremidades de los posteriores. Después de la evolución el número de dedos que apoyaban en el suelo, a lo largo de los años, fue reduciéndose a tres, después a dos, hasta que llego a un casco único, que es el que ahorita tiene el caballo actual. También, los primeros caballos tenían el tamaño de un cordero, varios dedos en cada pie. El *Anchitheriinae* fue el primero que apareció en Europa. Su pie había conservado tres dedos del pie. Su cuello era más largo que el de los caballos actuales. La especie evolucionó (principalmente en América del Norte) y se hizo más grande y más adaptada a la carrera. Tenían dientes adaptados para comer hojas tiernas.

Hace aproximadamente 30 millones años el clima cambió y esto afectó a los dedos, produciéndose una reducción progresiva del número de dedos. La almohadilla plantar desaparece para dejar sitio a un único casco sólido. Al mismo tiempo, la talla y la potencia de los caballos aumentan también. Además, su dentadura se adapta a su nueva dieta: hierbas duras.

Por Rita Campos

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

Respondiendo directamente a la pregunta formulada por Carolina, pero haciéndola más general, nos damos cuenta de que los seres vivos evolucionan observando varias evidencias. Estas evidencias son tan diversas como el registro fósil, el ADN, la fisiología, la anatomía, el comportamiento o la distribución geográfica de los organismos a lo largo de la historia de la Tierra. Enfoquémonos en los dos primeros tipos de evidencia: el registro fósil y el ADN. ¿Qué

es el registro fósil? Son huesos, semillas, impresiones de hojas o esqueletos u otros vestigios de los organismos que vivieron en la Tierra. Fechando correctamente los vestigios o el sustrato donde esos vestigios fueron encontrados y comparándolos con otros podemos reconstruir la historia evolutiva de las formas de vida que existen y existieron en nuestro planeta. Y ¿el ADN? El ADN es señalado a veces como el “instructivo” de los seres vivos. Hoy sabemos que estas instrucciones no son tan simples y lineares como, por ejemplo, las instrucciones para hacer aquel pastel de chocolate tan delicioso que comíamos en la casa de la abuela. Más aun, para poder responder a esta pregunta debemos considerar que el ADN es una secuencia de bases de nucleótidos (el alfabeto del ADN tiene sólo cuatro letras: A, C, G y T) que codifican para una gran variedad de funciones que son comunes a todos los seres vivos. ¿Por qué es tan importante el ADN en el estudio de la evolución de las especies? Porque, por ejemplo, comparando las secuencias de dos organismos podemos ver qué tan parecidos son entre ellos. O sea, si tienen las mismas bases nucleotídicas colocadas en las mismas posiciones. Si encontramos muchas semejanzas, concluimos que esos dos organismos comparten un ancestro común hace poco tiempo; si, por el contrario, encontramos un gran porcentaje de diferencias, entonces podemos concluir que el ancestro común de esos dos organismos es muy antiguo. En otras palabras, podemos calcular el grado de parentesco entre los organismos y dibujar su “árbol genealógico” (que, en este caso, llamamos “árbol filogenético”). Este tipo de comparaciones también permite estimar el tiempo que ha pasado desde que los descendientes se separaron de su ancestro común.

Entonces, ¿qué sabemos sobre la evolución de los caballos? Felizmente sabemos mucho porque el registro fósil de este grupo de animales es muy rico. Comencemos por contextualizar al caballo en el árbol de la vida. Los caballos pertenecen al orden Perissodactyla, que significa “dedos impares en los pies” (¡Tal vez no fue casualidad que Carolina empezó su respuesta refiriéndose a la evolución de los pies!) y a la familia Equidae. Aunque actualmente sólo existe un género, *Equus*, hay datos que indican que, en el pasado, esta familia fue muy diversa. Así, en el árbol filogenético de los equinos encontramos muchas ramas en el pasado y apenas siete en la actualidad, que corresponden a las siete especies del género *Equus* que existen actualmente. Y ¿cómo fue ese pasado? Bueno, los datos más recientes, obtenidos a partir de ADN recuperado de un hueso de un caballo que vivió en el Pleistoceno Medio (hace cerca de 560 - 780 mil años) y de la comparación de éste con cinco razas de caballos, dos especies de equinos actuales y de un caballo del Pleistoceno tardío (43 mil años), indican que los primeros organismos del género *Equus* aparecieron hace unos 4 - 5 millones de años (MA). Con este estudio también pudimos saber que las poblaciones de caballos salvajes y domésticos divergieron hace unos 38 - 72 mil años, que el único linaje salvaje actual es el caballo de przewalski (*Equus ferus przewalskii*) y que los periodos de oscilaciones climáticas grandes de los últimos 2 MA influenciaron las poblaciones de caballos, las cuales sufrieron grandes fluctuaciones en el número de individuos.

Pero este ancestro común de los caballos, cebras y burros actuales es apenas uno de varios linajes de equinos que se conocen. Como ya mencioné, el registro fósil numeroso de este grupo permitió reconstruir su historia evolutiva, la cual comenzó en América del Norte, en el Eoceno (hace unos 55 MA), con un animal del tamaño de un perro mediano llamado *Hy-*

racotherium. Este ancestro común de los equinos vivía en el bosque y tenía cuatro dedos en las patas delanteras y tres en las traseras. Al final del Eoceno, hace unos 40 MA, aparecieron linajes de equinos un poco más grandes y con tres dedos en las cuatro patas, clasificados en el género *Meshippus*. Sin embargo, es en el Mioceno (hace unos 15 - 20 MA) cuando se observa la diversificación más grande de este grupo de mamíferos, que pasaron de un conjunto relativamente homogéneo de individuos que se alimentaban de hojas a una gran variedad de formas, ya sea en las proporciones del cuerpo o en la morfología de los dientes. Sin embargo, la aparición de algunas características comunes a todos estos nuevos linajes de equinos, los dientes más robustos y el dedo de en medio agrandado, está relacionado con grandes alteraciones climáticas. De hecho, el clima caliente del inicio del Eoceno que favoreció el desarrollo de bosques tropicales en América del Norte cedió su lugar a un clima templado, llevando al aumento de las áreas cubiertas por hierba, las praderas norteamericanas, ideales para animales adaptados a pastar y a correr rápidamente en caso de aparecer algún depredador. Hace unos 9 MA desapareció la vegetación tropical y casi todas las especies de equinos que habitaron este ecosistema.

La gran diversificación de géneros (más de 12, al final del Mioceno, hace cerca de 5 MA) y especies que tuvo lugar durante el Mioceno fue también acompañada por una expansión geográfica, desde América del Norte. La colonización de Asia comenzó por el puente de Beringia y, a partir de ahí, las poblaciones de caballos se dispersaron por Europa, Medio Oriente y África. Hace unos 10 mil años, los caballos salvajes se extinguieron en Norteamérica, sobreviviendo solamente en las grandes planicies asiáticas. Como vimos anteriormente, el único descendiente salvaje sobreviviente es el caballo de przewalski; sin embargo, tanto las poblaciones ferales de Norteamérica como las razas domésticas comparten el mismo ancestro. Todos estos equinos tienen el dedo medio transformado en un casco y los dedos laterales, vestigios de los antepasados con tres y cuatro dedos, se mantienen en su esqueleto.

CAPÍTULO 17: EVOLUCIÓN DE LAS BALLENAS

¿De dónde vienen las ballenas?

Por Mariana Valente e Torres, 7º grado, Escuela EB - 2,3 de Agrela

La comprensión de este proceso comenzó a ser esclarecida a partir de los estudios de los fósiles realizados en Asia (Paquistán) en 1978. Allí fueron descubiertas rocas, datadas en cerca de 50 millones de años, con un cráneo fósil que después de ser analizado resultó ser de un mamífero terrestre, carnívoro, que vivía en el margen de los ríos. Este animal fue llamado *Pakicetus*. Con base en estudios paleontológicos, se sabe que el *Pakicetus* vivió en una época agitada en la región, durante un periodo de calentamiento de la Tierra, con deshielo de los casquetes polares y aumento del nivel del mar; lo que disminuyó el área terrestre y aumentó la marina. Así, muchas especies terrestres se extinguieron y otras se adaptaron al agua.

Se especula que tal vez *Pakicetus* haya comenzado a explorar el medio acuático en esta época, de forma esporádica, para buscar alimento, moviéndose de forma torpe, como un “perro”. El análisis detallado del cráneo de *Pakicetus* mostró semejanzas de algunos huesos de la región del oído con los del oído de las ballenas y los delfines. Esta semejanza se interpretó como una evidencia científica fuerte de la evolución de los cetáceos (ballenas y delfines), ¡a partir de mamíferos terrestres! En 1992, el descubrimiento en Paquistán de un fósil, en sedimentos marinos de hace 48 millones de años, apoyó a la teoría de la evolución de las ballenas a partir de mamíferos terrestres. Se descubrió un fósil de un animal completo semejante a las ballenas, pero con patas grandes y articulaciones móviles que sugirieron que era capaz de moverse en tierra. Este animal fue llamado *Ambulocetus natans* (ballena que anda y nada).

En los años siguientes se hicieron varios otros descubrimientos de fósiles. Sobresale el *Rodhocetus*, encontrado también en Paquistán en sedimentos marinos, cuyo análisis mostró semejanzas significativas de la articulación de sus tobillos con la articulación de los tobillos

de los artiodáctilos, como el hipopótamo; sustentando la teoría del origen artiodáctilo de las ballenas.

A partir de lo expuesto se puede concluir que las ballenas tuvieron su origen en un mamífero terrestre, el cual evolucionó hasta el *Rodhocetus* que, supuestamente es un ancestro de los cetáceos (ballenas) y que, con mucha facilidad, podemos decir que ¡el hipopótamo es un buen candidato a ser el “pariente” cercano de las ballenas! Y es que, a pesar de ser un pariente cercano de los mamíferos terrestres, es tan acuático como lo puede ser un mamífero terrestre.

Por Emiliano Rodríguez Mega

Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México

Querida Mariana:

¡Qué buena investigación sobre la evolución de las ballenas! Como mencionas, hace 50 millones de años (MA) aparecieron los primeros ancestros de los cetáceos actuales - grupo que engloba a las ballenas y a los delfines - en las orillas del mar de Tetis, un enorme cuerpo de agua que se formó cuando Pangea, una masa continental enorme, comenzó a fragmentarse. Estos ancestros de hábitos anfibios, cuyos representantes incluyen fósiles como *Pakicetus* y *Ambulocetus*, caminaban y chapoteaban en las costas sobre sus cuatro patas. De hecho, es probable que algunos de ellos ya fueran marinos pero al reproducirse lo hicieron en tierra firme como ocurre actualmente con las focas, morsas y lobos marinos. Desde hace unos veinte años, se sabe por evidencia genética que estos animales descendieron de los artiodáctilos –un grupo que incluye a los cerdos, vacas, jirafas, camellos y muchos otros organismos– y son especialmente cercanos a los hipopótamos. Sin embargo, los hipopótamos que ahora observamos en los zoológicos se originaron hace tan sólo 15 MA: ¡35 MA más tarde que los cetáceos! Parece ser difícil, entonces, afirmar que estos animales regordetes sean los parientes más cercanos a las ballenas; más bien ofrecen una imagen aproximada de cómo fueron los primeros cetáceos.

Como bien dices, los cetáceos se originaron al cambiar su dieta y no por entrar al agua, como muchos piensan. Esto se sabe por diferencias en las dentaduras entre los ancestrales y los actuales, y por el hecho de que algunos artiodáctilos también eran acuáticos (como los raoélidos). A partir de esto, evolucionaron dos grupos de cetáceos que, hasta la fecha, todavía exploran las aguas de nuestros océanos: los odontocetos y los misticetos. La principal diferencia entre ambos es la presencia de dientes en odontocetos, que les permiten devorar distintos tipos de peces o calamares, y las barbas de los misticetos, que les ayudan a filtrar el agua que entra por su boca para alimentarse de los organismos microscópicos que conforman el plancton marino. Quizá los mejores representantes dentro de los odontocetos sean los cachalotes y los delfines; los misticetos, por su parte, agrupan a la ballena franca y a la ballena boreal.

Sin embargo, muchas otras adaptaciones ayudaron a que los cetáceos pudieran colonizar los mares. Enumero las cinco más importantes:

1. Su cuerpo es alargado a manera de submarino (es decir, tienen cuerpos fusiformes). Esto les permite desplazarse mucho más fácil en un medio acuático.

2. Tienen gran tamaño corporal, porque con ello pueden acumular grandes cantidades de grasa de la cual obtienen energía y agua. Además, al no tener pelaje como todos los demás mamíferos, los cetáceos dependen de su grasa para no perder calor.

3. Como los riñones son los órganos principales que se encargan de la regulación de agua y sales en el cuerpo, los cetáceos presentan modificaciones en éstos órganos que les permiten vivir en ambientes salinos.

4. Los cetáceos pueden almacenar cantidades enormes de oxígeno en la sangre y tejidos, de manera que pueden bucear durante largos periodos de tiempo antes de tomar aire de nuevo.

5. Los odontocetos han desarrollado una capacidad enorme de ecolocación que les sirve para ubicarse y capturar a sus presas. Esto es, a manera de un sonar, emiten sonidos que les dan información del ambiente que les rodea. Además, la audición de los cetáceos está mucho más desarrollada que en otros mamíferos.

Este tipo de adaptaciones son importantes para la biología de los cetáceos, pero también han constituido una fuente de fascinación para nosotros, los seres humanos. Tanto así que, desde años antiguos, distintas culturas se han visto inspiradas por la belleza y el misterio de estos animales. Conservarlos es una acción de urgencia, no sólo por su importante papel dentro de los ecosistemas acuáticos, sino también para proteger su historia evolutiva y, de alguna forma, la nuestra propia.

CAPÍTULO 18: FÓSILES “VIVIENTES”

.....

¿Será que todos los seres vivos evolucionan?

Por Gabriela Moreira dos Santos, 7º grado, Escuela EB - 2,3 de Agrela

Existen varias especies de animales, y hasta plantas, que no evolucionaron y una de ellas es *Limulus polyphemus*, comúnmente conocida como cacerolita de mar o límulo. Este ser es un artrópodo marino muy relacionado con los escorpiones, que hoy podemos encontrar en el Golfo

de México. El *Limulus* surgió en la era Mesozoica (más o menos 400 a 300 millones de años [MA]) y se mantiene inalterado desde el primer registro fósil, según los estudios realizados. ¿Por qué esta especie no evolucionó? Solo hay una explicación: ¡El *Limulus* no tuvo motivos para evolucionar!

El *Limulus* no necesitó cambiar de ambiente, ni alterar su cuerpo, o alterar sus características para vivir mejor. ¡Siempre presentó un diseño excelente! Los científicos dicen que este animal alcanzó su máximo de evolución, la estasis. Véase, el *Limulus* posee un carapacho amplio que impedía e impide el ataque de varios depredadores. El *Limulus* soporta grandes variaciones de salinidad y de temperatura y puede sobrevivir meses sin alimento. Estos son, sin duda, aspectos que evidencian las características adaptativas y excelentes de este ser vivo. El *Limulus* es así un ejemplo de un ser que no sufrió alteraciones a lo largo del tiempo, contrariando la idea de que todos los seres evolucionan. A los *Limulus* y a otros seres que permanecen iguales a lo largo del tiempo se le conoce como “fósiles vivientes” y hasta el gran señor defensor de la teoría evolutiva hablaba de ellos: “Fósiles vivientes... formas anómalas (que) han vivido hasta el día de hoy, por haber habitado un área limitada, y así, han estado expuestos a una competencia menos fuerte...” (Darwin 1859).

Considerando los “fósiles vivientes” como los organismos que sobrevivieron por un tiempo considerable sin sufrir cambios morfológicos significativos, habiendo llegado hasta nosotros tal como eran, hay muchos científicos que están en desacuerdo con esa expresión. Pero, ¿cómo es que podemos o debemos llamar a estos seres que existen con la forma de fósiles, hoy, tal cual eran, desde hace millones de años? No me parece que vayamos a cometer un gran error al decirles “fósiles vivientes”. ¿Nadie se acordó de decirles, por ejemplo, “seres evolucionados”? Me parece que esta expresión estaría muy bien puesta, pues esos seres revelan un grado de evolución muy marcado, de ahí su falta de necesidad de evolucionar más.

Por Rita Campos

Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto

Comencemos por revisar qué queremos decir cuando hablamos de evolución (biológica). Ampliando la definición de Darwin, “descendencia con modificación”, la evolución es el cambio de las características de las poblaciones a lo largo de las generaciones. Los mecanismos que promueven dichos cambios son la selección natural, la selección sexual y la deriva genética; la entrada de nuevas variantes en una población se deben esencialmente a la mutación y a la recombinación. Los mecanismos evolutivos actúan sobre la variación que existe en la población haciendo que determinadas variantes aumenten o disminuyan de frecuencia e, incluso, sean eliminadas. Dadas estas condiciones, ¿podría no evolucionar una población? Podría ser así, si a lo largo de muchas generaciones no se observa ninguna variación en sus características. Para que eso sucediera no debería haber nuevas variantes entrando en la población; es decir, que no ocurrieran ni la mutación ni la recombinación. Alternativamente, si hubiera variaciones tendrían que ser eliminadas rápidamente para no ser observadas, sin que hubiera fluctuaciones en las variantes que ya existen. Gracias al trabajo de algunos matemáticos sabemos que esto último puede ocurrir si la población fuera muy (¡pero muy!) grande. O sea que en los modelos sabemos que existen condiciones en las que una población no evolucionaría, pero en la realidad estas condiciones difícilmente ocurren.

Gabriela refiere un ejemplo de una especie que “no evolucionó”, la cacerolita de mar (*Limulus polyphemus*), a quien llama también “fósil viviente”. Gabriela atribuye el término correctamente a Darwin; quien, sin embargo, no parece haber sido tan severo como lo parece en el breve texto que ella transcribe. Lo que Darwin escribió realmente en el capítulo IV del “Origen de las especies” (“Selección natural o la sobrevivencia del más eficaz; circunstancias favorables a la producción de nuevas formas por selección natural”) fue “... y en agua dulce encontramos algunas de las formas más anómalas que se conocen en el mundo actual, como el *Ornithorhyncus* y el *Lepidosiren* que, tal como ocurre con los fósiles, relacionan hasta cierto punto los órdenes que actualmente se encuentran muy separados en la escala natural. Estas formas anómalas casi podrían llamarse fósiles vivientes; han perdurado así hasta el presente por haber habitado áreas confinadas y, por lo tanto, haber estado expuestas a menos competencia”. Darwin apenas hace una breve referencia al apelativo “fósiles vivientes” sin prever que se popularizaría y terminaría por decirseles así a los organismos que pertenecieron a un grupo muy diverso en el pasado, pero que en el presente sólo queda un representante y son prácticamente idénticos a los fósiles de esos grupos. O sea, pasaron grandes periodos de tiempo evolutivo sin sufrir cambios, “sin evolucionar”.

Sin embargo, esta semejanza entre los fósiles y los “fósiles vivientes” es completamente superficial. En realidad, contrario a lo que Gabriela afirma, no es nada fácil encontrar en la literatura científica ejemplos de animales o plantas que no evolucionen. ¡Al contrario! Lo que se ha comprobado es que las especies que se han tomado como “fósiles vivientes” no sólo son diferentes a los fósiles de sus posibles ancestros a tal punto que son considerados espe-

cies o incluso géneros diferentes, sino que, además, tienen un origen más reciente de lo que se pensaba inicialmente. Un ejemplo clásico del error que representa clasificar a las especies como “fósiles vivientes” es el celacanto, un pez enorme que por mucho tiempo sólo se conocía en el registro fósil, de tal forma que, cuando se encontraron los primeros ejemplares, se comprobó que eran casi iguales a las formas fósiles; considerándolos un ejemplo de “fósil viviente”. Pero hoy sabemos que existen muchas diferencias entre los ejemplares actuales y los fósiles y que las poblaciones actuales tienen diferencias que nos permiten clasificarlas en dos especies diferentes: *Latimeria chalumnae* y *Latimeria menadoensis*. En cuanto a la cacerolita de mar la historia no es muy diferente. Varios estudios demuestran que hay diferencias morfológicas entre las poblaciones actuales y los restos fósiles y que las poblaciones presentan también diferencias entre ellas, tanto morfológicas como genéticas. Las poblaciones actuales presentan niveles elevados de diferenciación genética, lo que quiere decir que no sólo las poblaciones actuales divergieron de las poblaciones ancestrales sino que continúan divergiendo unas de otras: ¡Son diferentes! Claro que para un ojo poco entrenado parecen exactamente iguales, de la misma manera que para un ojo inexperto serían iguales un *Homo erectus* de un *Homo sapiens* o un oso hormiguero gigante de un oso hormiguero africano. A veces, la evolución ocurre por cambios muy pequeños en ciertas partes del cuerpo o por la convergencia de determinadas características cuando las especies, a pesar de ser filogenéticamente muy distantes, exploran nichos ecológicos muy parecidos.

A los ejemplos de la cacerolita de mar y del celacanto se pueden añadir muchos otros de organismos que fueron llamados incorrectamente “fósiles vivientes”; pero, así como para estas dos especies, se han evidenciado diferencias entre las poblaciones actuales y las de los fósiles. Algunos ejemplos son el ginkgo (*Ginkgo biloba*), crustáceos del género *Triops* o la tuatara (*Sphenodon punctatus*).

Finalmente resta corregir el argumento final de Gabriela: si el término “fósiles vivientes” induce un error y debería ser evitado (o hasta prohibido), llamar a estos organismos “seres evolucionados” también es un error. La evolución no se mide en grados, no hay “más evolucionado” ni “menos evolucionado”; ni una evolución más o menos “acentuada”. Puede haber poblaciones o especies más eficaces en su ambiente (y tal vez las cacerolitas de mar o sus ancestros sean un ejemplo de esto), pero nunca podemos medir la evolución como algo progresivo. Como se mencionó al inicio del texto, las poblaciones evolucionan porque hay cambios en sus características heredadas y estos cambios no dependen de la “necesidad” sino de la ocurrencia de mutaciones, la recombinación y de los efectos de los procesos evolutivos.

CAPÍTULO 19: RELACIONES EVOLUTIVAS ENTRE HUMANOS Y CHIMPANCÉS

.....

¿Por qué los humanos son tan parecidos a los chimpancés? (Teoría neodarwinista)

Por Ana Luisa Vaz, 11º grado, Escuela Secundaria

Infanta D. Maria

Usualmente los chimpancés son incorrectamente llamados monos; sin embargo, ellos están en la familia de los grandes simios, así como nosotros. El Hombre forma parte de la superfamilia de los primates llamada Hominoidea, que incluye solamente a los monos grandes, como el gibón (un simio del sudeste asiático), el orangután, el gorila y el chimpancé. Esos monos tienen en común con el hombre un porte desarrollado, la capacidad de rotar el brazo por el hombro, la ausencia de cola y ciertas características de los dientes (32 dientes, molares con cuatro cúspides). Existen, sin embargo, argumentos que prueban estas semejanzas entre el Hombre y estos grandes monos, en este caso el chimpancé.

El chimpancé y el Hombre comparten el mismo ancestro, es decir, ambos tienen el mismo origen. El origen común se puede explicar con la comparación entre el ADN de las dos especies, y las similitudes alcanzan el 98%. Este valor puede ser confirmado mediante hibridación de ADN donde, comparando dos cadenas de ADN de diferentes especies, cuanto mayor es el porcentaje de ligaciones entre sus bases, mayor será el grado de parentesco entre los individuos. Una de las teorías propuestas para explicar la diferencia entre estas dos especies es que los chimpancés poseen dos cromosomas más que el Hombre. Otro argumento que muestra las similitudes entre los chimpancés y los seres humanos es un fósil de transición llamado *Sahelanthropus tchadensis*, que es un fósil que reúne las características que hoy se encuentran en los diferentes grupos, lo que demuestra la evolución divergente.

El chimpancé y el Hombre son especies homólogas, dado que poseen el mismo plano interno, pero pueden divergir en la forma en que se presentan debido a que éstas han sido

seleccionadas por presiones ambientales diferentes. Esto comprueba la evolución divergente, a pesar de que el tiempo de divergencia entre las dos especies ha sido poco dado que su gran parentesco es elevado. Es, de hecho, sorprendente ver que apenas un 2% de diferencias en el ADN entre el humano y el chimpancé haga una gran distinción en la estructura corporal y cerebral de las dos especies. Esto sólo prueba hasta qué punto el origen y evolución de las especies son procesos extremadamente semejantes.

¿Descendemos del mono?

Por Giancarlo Roldan Salas, 7º grado, Colegio Marymount

La explicación científica de la evolución del Hombre es que somos descendientes del mono. Hay libros y revistas donde dicen que no descendemos del mono sino que tenemos un antepasado común con ellos. Se cree que el antepasado común fue un chimpancé llamado Ardi, que vivió millones de años antes que Lucy.

Muchas personas se preguntan que, si descendemos del mono, ¿por qué no todos los monos se han convertido en humanos? Pero Darwin dijo que nosotros somos sus parientes biológicos no sus descendientes. Los monos y los humanos siguen evolucionando pero los monos nunca se convertirán en humanos. Aparte una diferencia en los humanos y los monos es que los monos tienen 24 pares de cromosomas y los humanos solo 23, eso es una gran diferencia ya que una pérdida así tendría un efecto muy grave.

¿Evolución o Creación? Años atrás la teoría de la creación de todo ser viviente por Dios no se ponía a discusión, pero surge Charles Darwin y, con su teoría de la evolución, parecía que explicaba por completo la existencia de la vida en la Tierra. Por eso en mi opinión no descendemos de ellos, solo tenemos un parecido con ellos, y un ancestro común.

Si nosotros evolucionamos a partir de los monos, ¿por qué hay monos todavía?, ¿no debieron ser eliminados por la selección natural?

*Por Pedro Alexandre Gonçalves Faria, 11º grado,
Grupo de Escuelas de Padre Benjamim Salgado*

En primer lugar, está mal decir que evolucionamos a partir de los monos, lo que tenemos es un ancestro común con ellos, que evolucionó de formas diferentes, de acuerdo a las condiciones ambientales a las que fueron sujetos, ya que todos somos primates. Este proceso evolutivo de selección puede ser explicado según la teoría reformulada de Darwin, el neodarwinismo. Esto es porque cuando Darwin publicó su teoría no tenía conocimiento de los datos más recientes sobre genética, descubiertos por Mendel. Sin poder explicar así cuál era el origen de las diferentes características dentro de una especie, que volvían a los seres vivos de esa misma especie más aptos relativamente a otros con características menos favorables en un medio dado, como es el caso de las jirafas de cuello corto en la sabana, que acabaron por desaparecer. Darwin solo sabía que esas características se transmitían hereditariamente de unas generaciones a otras. La predominancia de una determinada característica dentro de una especie era el fruto de la selección natural, donde sobreviven los más aptos, como las jirafas de cuello largo que sobreviven hasta hoy, por poder alcanzar las ramas más altas de los árboles en la sabana. Esta predominancia podría cambiar a lo largo del tiempo si ocurrieran cambios en las condiciones impuestas por el ambiente.

Cuando los misterios de la genética fueron revelados, se logró probar que esas características provenían de mutaciones que ocurrían al nivel del material genético, acabando por ser transmitidas hacia la descendencia. Las variaciones de características dentro de las especies quedaron explicadas así. Más allá de eso, las condiciones que originaron a las mutaciones no ocurrieron en todos los ecosistemas, impulsando la evolución de algunas poblaciones de primates. Sólo ocurrieron en algunos ecosistemas impulsando la evolución de algunas poblaciones de primates hacia nuestro ancestro, los australopitecos, que

como sabemos eran nómadas y se dispersaron por todo el mundo. En cada parte del mundo nuestros ancestros fueron encontrando nuevas condiciones que originaron nuevas mutaciones y que dieron origen a las variaciones que existen hoy en el *Homo sapiens sapiens*, como los nórdicos, los africanos, los latinos, los asiáticos...

Los ancestros comunes del humano y los monos que enfrentaron otras condiciones impuestas por el ambiente, que no eran iguales a las que enfrentó el ancestro que divergió hacia el humano, evolucionaron hacia otros seres vivos como los gorilas, los orangutanes, los chimpancés y los monos, que forman parte de los primates, igual que nosotros, el *Homo sapiens sapiens*.

Por Rita Campos

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

Es verdad que somos muy parecidos a los chimpancés porque, considerando a todos los seres vivos, ellos son nuestros parientes más cercanos. Si imaginamos la representación del árbol de la vida, el gran árbol evolutivo con todas las especies del planeta, como si fuera una gran genealogía, hasta podríamos decir que los humanos (el género *Homo*) y los chimpancés (género *Pan*) son hermanos. En ese caso, el padre/madre de los dos grupos sería la especie a la que llamamos el “ancestro común más reciente”. ¿Por qué especificar que es el “más reciente”? Eso es porque todas las especies están relacionadas por ancestros comunes - y este es uno de los aspectos más fascinantes de la teoría de la evolución: ¡todos los seres vivos comparten parte de su historia! Sin embargo, cuando reconstruimos la historia evolutiva de dos especies (o grupos de especies) procuramos encontrar al ancestro común más reciente, aquel que marca el punto a partir del cual cada una de las especies comenzó a evolucionar de forma independiente. Entre más cercanas sean las dos especies, hay menos tiempo transcurrido desde que se separaron del ancestro. Volviendo a la analogía de un árbol genealógico, el ancestro común más reciente de un par de hermanos es la madre o el padre y entre un par de primos-hermanos es su abuela o abuelo. Por lo tanto, compartimos más características con nuestros hermanos que con nuestros primos. Por esa misma razón es que, generalmente, nos parecemos más a nuestros hermanos que a nuestros primos.

Pero entonces, ¿quién es el ancestro común más reciente de los humanos y los chimpancés? Todavía no se sabe con certeza. Los datos genéticos y otros estimados sugieren que este ancestro vivió hace 10 a 5 millones de años (MA) hacia el pasado y algunos fósiles, atribuidos a los que serían los primeros homínidos ayudan a reconstruir un poco mejor la historia evolutiva del linaje de los humanos. Dos de estos primates fueron referidos por Ana Luisa y Giancarlo

en sus respuestas: *Sahelanthropus tchadensis* y *Ardipithecus ramidus*. Junto a éstos, podemos añadir a otros dos: el *Orrorin tugenensis* y *Ardipithecus kadabba*. Tanto el *Sahelanthropus tchadensis* (literalmente, hombre del Sahel de Chad) quien vivió en África occidental hace unos 7-6 MA, como el *Orrorin tugenensis* quien vivió en la región donde hoy en día se encuentra Kenia entre 6-5.7 MA y el *Ardipithecus kadabba* quien vivió en la actual Etiopía entre 5.8 y 5.2 MA presentaban ya algunos rasgos comunes con el ser humano, por ejemplo todos ellos eran bípedos. El problema es que estos hallazgos se restringen a algunos cráneos, lo que naturalmente limita un análisis profundo sobre estas especies. Incluso hay debate acerca de la clasificación de *Sahelanthropus tchadensis* como un homínido. Por otro lado, tal como habría ocurrido con Lucy, el ejemplar más famoso de *Australopithecus afarensis*, quien vivió en África hace unos 3.2 MA, fue posible recuperar un ejemplar casi completo de *Ardipithecus ramidus*. Este ejemplar es mejor conocido como Ardi, una hembra que vivió hace 4.4 Ma en la misma región donde se encontraron los restos de *Ardipithecus kadabba*. A través del análisis detallado de Ardi, fue posible concluir que estos homínidos presentaban características propias y disímiles con respecto a los grandes simios actuales. Esto vino a contradecir la idea de que los primeros homínidos eran muy semejantes a los grandes simios, lo que probablemente resultó en la idea errada de que en esta teoría se establecía que los humanos descendemos de los simios. Las nuevas evidencias sugieren que el ancestro común más reciente entre humanos y chimpancés habría sido muy diferente a cualquier primate actual.

Desde que los humanos divergimos de los chimpancés se acumularon muchos cambios que hoy en día se reflejan en las diferencias que encontramos entre los dos grupos. Uno de esos cambios es el número de cromosomas, tal como está descrito en los textos anteriores: los chimpancés (y otros primates, como los gorilas) tienen 24 pares de cromosomas y nosotros sólo tenemos 23. ¿Eso quiere decir que perdimos un cromosoma, una porción tan grande de información genética? La verdad es que no, lo que ocurrió es que en nuestro linaje ocurrió una fusión entre dos cromosomas. La secuenciación completa de los genomas de humanos, chimpancés y gorilas permitió comparar los diferentes cromosomas y concluir que nuestro cromosoma 2 es el resultado de una fusión de dos cromosomas que están presentes en otros primates.

En conjunto, el descubrimiento de los homínidos fósiles funcionó como una potente lupa para mirar hacia nuestro pasado. La posibilidad de que todas esas especies presentaran características compatibles con el bipedalismo, aunque fuera facultativo, dio lugar a nuevas hipótesis acerca de las posibles fuerzas selectivas que actuaron en los primeros momentos de nuestra evolución. Posiblemente, y al contrario de lo que se pensó antes, no habría sido el ambiente sino la organización social de nuestros ancestros el principal motor de la evolución. El bipedalismo probablemente resultó ventajoso para la colecta de alimentos y otros bienes y también para el cuidado parental; así que se seleccionarían los individuos con mejores capacidades para caminar en dos pies.

CAPÍTULO 20: EVOLUCIÓN DEL BIPEDISMO

¿Por qué los seres humanos desarrollaron una forma de desplazamiento bípeda?

Por Paula Bautista Salas, 7º grado, Instituto Cultural

Primero, para poder resolver la pregunta que acabamos de formular, hay que decir qué es una forma de desplazamiento bípeda, lo que nos ayudará a comprender por completo la pregunta. La palabra “bípeda” significa “en dos patas”, o bien con dos soportes para transportarse de un lugar a otro. Con eso nos damos cuenta que los seres humanos nos transportamos en dos piernas, o de forma bípeda. Continuando con el proceso de resolución de nuestra incógnita, decimos que a lo largo del proceso de evolución del Hombre, hubo varias etapas, donde no siempre nuestros antepasados se movían en dos patas; entonces podemos pensar que hubo cierto hecho que obligó al Hombre a erguirse de la postura que había tenido y caminar sobre dos de sus extremidades.

En la época en que aún no se daba el cambio de desplazamiento en el humano, varias especies que están emparentadas con nosotros se trasladaban apoyándose en las cuatro extremidades con las que contaban éstas y nosotros; en aquella época lo más trascendente en la vida de nuestros ancestros era alimentarse y sobrevivir, entonces se puede pensar que las especies específicas que formarían a los humanos vivieron en un entorno donde, para lograr alimentarse satisfactoriamente, requerían un par de asideras con las cuales sujetar sus alimentos e instrumentos de caza. Antes de desarrollar las asideras (manos) necesarias para tomar las cosas con las que contaban y necesitaban para subsistir, utilizaban la única cosa con la que contaba el cuerpo capaz de sostener los objetos, es decir, la boca. Como es de imaginar, al no poder tomar los objetos con las manos, el cráneo de los ancestros debía ser especial para lograr retener las cosas que requerían en su vida cotidiana. Pero esto podía ser poco práctico a la hora de comunicarse con sus semejantes, o cuando querían alimentarse pero tenían que sujetar sus pertenencias. La forma que tenía la cabeza no permitía una gran capacidad cerebral, lo cual representa

la principal desventaja de no saber ni poder tomar los objetos con las manos. Fue entonces que la evolución actuó en beneficio del Hombre y lo transformó de manera que sus patas delanteras desarrollaron un pulgar oponible, dándole el enorme beneficio de sujetar las cosas, también con la ventaja de modificar la forma del cráneo para una mayor evolución cerebral y ya con estas ventajas el Hombre enderezó su postura y alcanzó nuevos alimentos y lugares que hasta entonces no había tenido acceso.

Muy bien, ya tenemos una conclusión del porqué de la forma de caminar de los humanos, pero ahora nos encontramos frente a una segunda duda: ¿por qué los simios (nuestros parientes evolutivos más cercanos) no desarrollaron, por lo menos completamente, el caminar en dos patas? Se pensaría que los simios no cambiaron de hábitat en el tiempo de la evolución, pues su pensamiento no los obligo a desplazarse de las selvas y lugares ancestrales en los que se encontraban, y en estos lugares el desplazarse en dos piernas no es lo más útil. En ciertas ocasiones podrían necesitar caminar en dos patas, sobre todo cuando su alimento es algo alto como para alcanzarlo.

¿Por qué los humanos son bípedos?

Por Carolina Ramos, 11º grado, Escuela Secundaria Infanta D. Maria

Según Darwin, el Hombre se volvió bípedo para dejar libres sus manos para la construcción de herramientas. Sin embargo, las verdaderas razones son mucho más complicadas y específicas, como se puede comprobar de acuerdo con la Teoría Sintética de la Evolución o neodarwinismo.

Hace algunos millones de años, surgieron los monos, que hoy se sabe son los ancestros comunes del Hombre. Inicialmente, este ancestro común se desplazaba sobre sus cuatro extremidades pero, a lo largo del tiempo, se encontró con diversas dificultades, entre ellas, la obtención de comida, la disipación del calor, la necesidad de escapar de los depredadores, entre otras, siendo que todas ellas están asociadas a su necesidad de sobrevivir. Era, por lo tanto, necesaria una adaptación por parte de los individuos, siendo

que esta se efectuó en la alteración del acervo genético de la población, a través de mutaciones y de la recombinación genética, como se puede comprobar con datos de análisis de bioquímica de la especie. Estas alteraciones permitieron a los individuos desarrollar sus capacidades de sobrevivencia, volviéndose así los más aptos. Acoplada a esto, la selección natural fue la que determinó la prevalencia de las nuevas características en el acervo genético de la especie, dado que sólo los más aptos lograban sobrevivir (sobrevivencia diferencial), después serían los únicos en producir descendencia (reproducción diferencial), lo que consecuentemente llevaría a que los nuevos individuos pasaran a poseer las nuevas características.

Se concluye entonces que los genes que prevalecen en una población son aquellos que la hacen más apta a las condiciones con las que se enfrenta, siendo el bipedalismo un ejemplo de eso. Por otro lado, los genes que tienen el efecto contrario en esa población van siendo eliminados del acervo genético, definiendo así la evolución.

Por Juan Carlos Zavala Olalde

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

El bipedalismo en los seres humanos es su capacidad para desplazarse en las dos extremidades inferiores, es decir, caminar con las piernas. Al preguntarnos ¿por qué son bípedos los seres humanos? podríamos estar reflexionando sólo acerca de los *Homo sapiens*, especie a la que pertenecemos todos los seres humanos. Entonces una rápida respuesta sería tan fácil como inútil. Pues los *Homo sapiens* son bípedos porque sus ancestros (de quienes descienden) eran bípedos. Esa respuesta no explica nada, porque ahora hay que preguntarnos por qué comenzaron los ancestros de los seres humanos actuales a ser bípedos. Incluso va a surgir la pregunta de cuándo y cómo comenzaron a ser bípedos los ancestros de los seres humanos. Para contestar voy a ir hacia atrás en nuestra historia evolutiva señalando los ancestros de los *Homo sapiens* que se han reconocido como bípedos.

El primer ancestro de nuestra especie que no es *Homo sapiens* y ya era bípedo es el *Homo erectus*. A finales del siglo XIX René Dubois encontró en la isla de Java lo que pensó acertadamente que debía ser un ancestro del ser humano. El nombre *erectus* señala que ya era un bípedo como nosotros. Así que las preguntas que nos hemos planteados no se resolvieron en ese entonces. Como los *Homo erectus* vivieron desde hace 1.8 millones de años (MA) y hasta hace 500 mil años, el primer ancestro bípedo debió ser más antiguo. Hacia los años veinte del siglo XX, Raymond Dart descubrió en África a un ancestro de los seres humanos con

características tan primitivas que lo llamó Mono-austral africano, es decir; *Australopithecus africanus*. No probó si eran bípedos, pero se pensó que podrían ser una etapa de transición entre desplazarse en dos extremidades, como ocasionalmente lo hacen los chimpancés actuales, y ser bípedo. Fue hasta los años 70 del siglo XX cuando se tuvo evidencia para abordar el problema del bipedalismo, con el descubrimiento de Lucy, una *Australopithecus afarensis*. Los *Australopithecus afarensis* vivieron desde hace 2.9 MA hasta hace 2.5 MA. Cuando se descubrieron eran los ancestros más antiguos conocidos de los seres humanos. *A. afarensis* tenía el fémur articulado con la pelvis de forma que señalaba una postura bípeda. Además, la vértebra que conecta a la columna vertebral con el cráneo, es decir el atlas con el *foramen magnum*, indicó también una postura bípeda. Las evidencias morfológicas eran contundentes y a ellas se agregó el descubrimiento de la huellas de Laetoli, en ellas se aprecia a una pareja de *Australopithecus* caminando, una evidencia de que eran totalmente bípedos como nosotros. Eso fue hace casi 4 MA. Los *Australopithecus* también tuvieron unos ancestros bípedos, los *Ardipithecus*. A diferencia de todos los que hemos señalado hasta ahora, los *Ardipithecus* se consideran actualmente los primeros bípedos obligados, es decir, antes que ellos también existieron ancestros bípedos, pero eran tan buenos en ello como en trepar y vivir en los árboles usando las cuatro extremidades. Aquellos ancestros bípedos facultativos se conocen como *Sahelanthropus tchadensis* y *Orrorin tungenensis* y vivieron hace 7 a 6 MA. Pero hablemos de los más antiguos ancestros de los seres humanos que fueron bípedos, los *Ardipithecus*. Los *Ardipithecus* vivieron hace 6 a 4 MA y son muy parecidos en apariencia a los chimpancés, pero eran bípedos. ¿Cómo se sabe esto?

En primer lugar, los *Ardipithecus* tienen una estructura morfológica como la de sus ancestros que eran ocasionalmente bípedos y muy posiblemente cuadrúpedos la mayor parte del tiempo. Eso quiere decir que poseían una morfología que les permitía dos posibilidades de desplazamiento. Esta capacidad también debe comprenderse en su sentido ontogénico; es decir, de su desarrollo. Es probable que a lo largo de la infancia de los *Ardipithecus* se hayan visto sujetos a preferencias, conveniencias y presiones selectivas de un modo de desplazamiento con respecto del otro. Esas posibilidades estructurales-ontogénicas se vieron sujetas a procesos selectivos que propician una reproducción diferencial y evolución por selección natural. ¿Cuáles pudieron ser los factores selectivos o de ventaja? Uno de los factores relevantes es el hábitat y otros son los hábitos de vida en ese hábitat. Los *Ardipithecus* construyeron un nicho, un modo de vida nuevo o no tan explotado antes. Fueron capaces, por primera vez, de desplazarse en dos extremidades, minimizando los movimientos verticales y horizontales y con ello minimizan el gasto energético al caminar. La postura es estable y no requiere de esfuerzo, es relativamente fácil desplazarse por largas distancias. La eficiencia en el desplazamiento también se complementa con una mejor termorregulación. Además, en dos extremidades las actividades culturales como transportar materiales o crías está potencializada.

Una actividad de construcción del nicho fundamental tiene que ver con la alimentación. Los ancestros bípedos tienen la ventaja de transportar alimentos, ser más efectivos en su búsqueda. Además, muchos individuos en la etapa reproductiva aumentan su tamaño con despliegues que para los homínidos están limitados. La postura bípeda también puede relacionarse con procesos de preferencia en la selección de pareja. Es posible que todas estas

ventajas fueran suficientes para que la característica de caminar en dos extremidades se heredara desde entonces a los descendientes de *Ardipithecus*, que son nuestros ancestros. Nuestros ancestros *Ardipithecus* al construir el nuevo nicho de los homínidos bípedos hicieron posible un proceso de diversificación de los homínidos en África del cual somos la única especie viva.

En conclusión, es por esta larga historia evolutiva que somos bípedos. No poseemos todas las evidencias, pero sí estamos seguros que somos bípedos porque nuestros ancestros construyeron un nuevo modo de vida, la marcha bípeda.

CAPÍTULO 21: EVOLUCIÓN DE LA FORMA DE LOS OJOS

.....

¿Por qué los asiáticos tienen los ojos rasgados?

Por Catarina Saraiva, 11º grado, Escuela Secundaria

Infanta D. Maria

Según un cirujano plástico: “Hay innumerables diferencias entre los ojos caucásicos y los asiáticos. La mayoría de ellas son invisibles, musculares y en los tejidos subyacentes, como un mayor contenido de grasa y la piel un poco más espesa en los ojos asiáticos”.

Una de las primeras preocupaciones de cualquier ser humano cuando llega a la madurez es preguntarse sobre sí mismo, cuál es su propósito en la Tierra y de dónde viene. Y aquí entra un conjunto de explicaciones que relacionan a la historia con la naturaleza. El ser humano tiene cerca de doscientos mil años de existencia comenzando a escribir su camino en tierras africanas. Con el pasar del tiempo le ocurrieron cambios, evolucionó. De entre las características adquiridas en cada raza destacan los ojos rasgados, típicos de las personas del este. Varias preguntas se erigen en torno de esta característica. ¿Por qué estas personas presentan los ojos rasgados? y ¿cuáles son las ventajas y desventajas que conlleva?

Dentro de la especie *Homo sapiens* se pueden distinguir

diferentes razas: europeoide, negroide, mongoloide, entre otras. Estos últimos, los mongoloides, tienen un color de piel más pálido o blanco, un rostro redondeado u ovalado con pequeños ojos rasgados y con cabello generalmente negro y lacio. Los mongoloides surgieron en regiones de Asia mucho más frías y remotas. Dadas las bajas temperaturas, esas tierras presentaban un clima tipo glacial que era muy riguroso y selectivo, donde sólo algunos sobrevivían y los humanos que allí vivían tenían que adaptarse. La nieve existente reflejaba los rayos solares intensamente, provocando en el largo plazo un déficit en la visión humana. Aquellos que tenían los ojos grandes o más abiertos perdían gran parte de la vista y disipaban el calor, y como consecuencia de la selección natural se extinguieron y los que quedaron por acá mantuvieron las características que los hacían sobrevivir. En lo que hoy es el lejano oriente, los individuos tienen más grasa en los párpados, lo que provoca una flexión del párpado interno. Esta grasa calentaba los ojos, conservando el calor del cuerpo y pasando de generación en generación y hoy es una característica dominante en Asia. Con el pasar del tiempo surgieron alteraciones en la raza formando, así, personas a quienes llamamos, hoy en día, los chinos, coreanos o japoneses cada uno de los cuales presenta características detalladas en función de su evolución. Así, no sólo los pueblos chinos y japoneses tienen aberturas más estrechas en los ojos, sino que también los mongoles y los pueblos más allá del este del ex-imperio ruso, todo debido al medio idéntico de donde provienen.

Otra explicación, es el hecho de que el puente de la nariz se hizo más bajo. Eso es lo que causó que los ojos se “rasgaran”. Los niños con síndrome de Down también muestran esta característica. O también puede ser simplemente una variación genética preservada por el aislamiento geográfico. El ADN provee mecanismos para una gran variación. No es necesario que cualquier variante particular domine, al menos que realmente tenga una ventaja. Como Darwin argumentó, existía variabilidad genética dentro de la raza mongoloide, siendo que unos tenían los ojos más abiertos que otros. Pero las condiciones del medio eran muy adversas y el exceso de luminosidad los obligaba a cerrar los ojos. Como los ojos más rasgados

tenían una ventaja, perduraron y “sobrevivieron” a lo largo del tiempo - sobrevivencia diferencial - y esta característica fue transmitida a través de la reproducción hasta el día de hoy - reproducción diferencial. En conclusión, todo aquello que el Hombre es actualmente proviene de miles de años de una interacción entre la naturaleza y la evolución.

Por Paula F. Campos

*Centro de GeoGenética, Museo de Historia Natural de Dinamarca,
Universidad de Copenhague*

La característica de “ojos rasgados” presente en la mayoría de los habitantes de Asia oriental y central (pero no en la India, por ejemplo) resulta del llamado “pliegue epicántico”, un pliegue de piel presente en el párpado superior. La palabra epicántico deriva del griego *epi*, que significa encima y *canthus*, que es el término médico para la esquina del ojo, junto a la nariz. Sin embargo, no todos los asiáticos, ni siquiera los originarios de las zonas tradicionalmente asociadas a su presencia, tienen los “ojos rasgados”. Asimismo, el pliegue está presente en varios otros individuos no originarios de estas zonas, como los Inuits, los Indígenas americanos, los Khoisan (de los grupos étnicos de África meridional, los cazadores y recolectores San y los pastores Khoi); y también en algunos niños de varios orígenes (desapareciendo cuando éstos crecen). Está también asociado a individuos con síndrome de Down (trisomía en el cromosoma 21) y otros síndromes genéticos, como el síndrome alcohólico fetal.

Una de las hipótesis más recurrentes afirma que su presencia podría conferir alguna protección contra la luz del sol en áreas muy soleadas y contra el frío, en ambientes inhóspitos; y que tal vez por eso se haya extendido y mantenido en estas poblaciones. Eso podría explicar su presencia en poblaciones no relacionadas, como las asiáticas y las tribus del sur de África. Sin embargo, no explica por qué otras poblaciones en áreas con igual exposición al sol no presentan también esta característica, ni explica por qué también existe (aunque en menor frecuencia) en poblaciones que evolucionaron fuera de las zonas tropicales. Dada la existencia del pliegue epicántico en niños de diferentes orígenes (incluso en lugares donde el pliegue raramente o nunca existe en los adultos) es posible que su permanencia en los adultos resulte de un proceso llamado neotenia: la permanencia de características infantiles en individuos adultos. Eso es posible por la alteración de genes asociados al desarrollo que en ciertas etapas de la vida funcionan como interruptores, prendiendo o apagando determinadas funciones del cuerpo en etapas específicas, por ejemplo en la adolescencia. Estos interruptores son los responsables del surgimiento, por ejemplo, de la barba en los adolescentes. La remoción del interruptor responsable de las características faciales ligadas a la esquina interior del ojo sería entonces la responsable de la permanencia del aspecto de “ojos rasgados” en algunos adultos.

El apareamiento del pliegue epicántico involucra cambios en la musculatura y en composición de la piel, ya que contiene bastante tejido adiposo. Esto sugiere que no es una al-

teración simple. Sin embargo, la existencia de personas con ese pliegue en poblaciones tan distintas y en infantes de todas las etnias y de diferentes orígenes geográficos, sugiere también que podría haber un gene que esté activo sólo durante las primeras fases del desarrollo y que después es apagado en los adultos no asiáticos. Quizá algunos individuos de las poblaciones asiáticas tenían una alteración genética que permitió la permanencia de esa característica hasta la edad adulta. En las condiciones ambientales de la época cuando los seres humanos modernos comenzaron a colonizar el sureste asiático, hace unos 100 mil años, la prevalencia del pliegue epicántico sería adaptativa y las personas con esa variación genética tendrían una ventaja, sobreviviendo más tiempo y teniendo más descendencia que los otros. Con el tiempo, el pliegue epicántico aumentó su frecuencia y se volvió preponderante en las poblaciones asiáticas.

CAPÍTULO 22: EVOLUCIÓN DE LAS ARRUGAS DE LOS DEDOS

¿Por qué se arrugan los dedos en el agua?

Por Andreia Soares Parafita, 11º grado, Escuela EB 2,3/S

Miguel Torga

Fue en la universidad de Newcastle, Gran Bretaña, que varios científicos quisieron dar respuesta y entender el fenómeno del arrugamiento en las extremidades de los dedos cuando son expuestos al agua durante algún tiempo. La investigación consistió en varios estudios de los antepasados del ser humano y en algunos experimentos prácticos. El experimento principal consistió en pedir a voluntarios que tomaran canicas colocadas en el fondo de un balde con agua y las hicieran pasar a su otra mano, colocándolas después en un segundo recipiente. Fue posible verificar que los voluntarios que tenían los dedos arrugados terminaban la tarea propuesta más rápidamente que los voluntarios que tenían un porcentaje menor de arrugamiento, y que los que no tenían los dedos arrugados en el mismo periodo de tiempo. Después, el análisis de los resultados los llevó a concluir que el hecho

de que los dedos se arruguen en contacto con el agua se debe a la vasoconstricción (proceso de contracción de los vasos sanguíneos como consecuencia de la compresión del músculo liso presente en la pared de los vasos), reacción controlada por el sistema nervioso central, y que ese fenómeno puede ser una ventaja adquirida por el ser humano durante su evolución a lo largo de miles de años: es más fácil asegurar un objeto mojado con la superficie de la piel rugosa que con la superficie de la piel lisa. Las arrugas tienen por eso la función específica de hacer más simple la manipulación de los objetos debajo del agua o en superficies mojadas. Este mecanismo permite al ser humano el equilibrio en pisos mojados y es por eso que las arrugas aparecen solamente en los dedos de las manos y pies y no en el resto del cuerpo.

Es de notar que la mayoría de los investigadores admite que los antepasados del Hombre utilizaron los miembros para la realización de diversas funciones y se alimentaban de frutos de los árboles, buscando alimentos en lagos y ríos y, de esta forma, tener los dedos arrugados en estas situaciones sería una ventaja para ellos. Existe aún una teoría que defiende que los ancestros del ser humano vivieron una fase semiacuática en donde podría prevalecer esa característica. La aparición de las arrugas en los dedos también ha sido observada en algunos organismos como: los monos del viejo mundo, Cercopitecinos, en el mono de Gibraltar, así como en el babuino sagrado. Y si puede ser identificada en otros primates, se puede concluir que su función original habría sido locomotora, ayudando a estos seres a desplazarse en vegetación húmeda y en troncos de árboles mojados.

Darwin defendió que el principal mecanismo de la evolución era la selección natural y que las características que conferían ventaja y aseguraban la sobrevivencia de la especie eran transmitidas a la generación siguiente, lo que puede justificar al arrugamiento de los dedos que se observa actualmente en el humano. Otra prueba que confirma que este fenómeno resultó de una ventaja adquirida por la evolución es que el ADN de algunos primates, por ejemplo el chimpancé o el orangután, tiene una coincidencia de más del 95% con el ADN humano.

Así este descubrimiento “tiró al piso” que la aparición de las arrugas en las puntas de los dedos sería simplemente la hinchazón de la piel debido al contacto con el agua y que no desempeñaba ninguna función.

Por Rita Campos

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

Como Andrea dice, de manera correcta, lo arrugado de los dedos es controlado por el sistema nervioso simpático, que induce la vasoconstricción de las yemas de los dedos, disminuyendo su volumen. Es, por lo tanto, un mecanismo activo; es decir, hay un gasto de energía para que ocurra. Ahora bien, si la energía es necesaria para mantener las funciones vitales del organismo y todavía sobrevivir y reproducirse, ¿para qué gastarla en un proceso aparentemente inútil como arrugar los dedos? La respuesta podría estar relacionada con el hecho de que este proceso tal vez tuvo un papel importante en la evolución humana. Considerando que, tal como ocurre con los surcos que se colocan en las suelas de muchos calzados, las arrugas en los dedos podrían ayudar a la adherencia en ambientes húmedos o mojados, la desventaja en el gasto energético podría haber sido compensada por una ventaja en la obtención de alimentos. Esta hipótesis que sugiere una función adaptativa del arrugamiento de los dedos, conocida como “piso mojado”, fue evaluada por vez primera en 2011 por un equipo de cuatro investigadores de Idaho (Estados Unidos). Estos científicos analizaron la topografía de las arrugas inducidas por la humedad y las compararon con las redes de drenaje de cuencas hidrográficas, comprobando que esta morfología es muy similar. Este resultado sugiere que la topografía de las arrugas produce una mejor adhesión que los surcos de las suelas de los zapatos, pues permite “drenar” parte de ese fluido, dejando la piel de los dedos en completo contacto con la superficie (por lo tanto, aumenta la adhesión). El tiempo medio necesario para que las arrugas aparezcan (aproximadamente cinco minutos) es el suficiente como para que sean útiles y, al mismo tiempo, para que no se formen sólo con el mínimo contacto con el agua. El hecho de que el arrugamiento de los dedos ocurre más rápido en soluciones hipotónicas como el agua, así como su localización sólo en dedos de manos y pies, son otros de los argumentos a favor de la hipótesis de “el piso mojado”.

Dos años más tarde, el equipo de Newcastle (Reino Unido) del cual Andrea hace referencia, publicó un artículo en el cual se describe un conjunto de observaciones que apoyan la hipótesis de los dedos arrugados por la humedad habría tenido una función adaptativa, permitiendo mejorar la manipulación de objetos mojados. ¿Cuáles fueron esas observaciones? Considerando la hipótesis ya presentada por el equipo de Idaho, estos científicos diseñaron algunos experimentos simples que consistieron en la manipulación de 45 objetos secos y sumergidos en agua, con los dedos arrugados y sin arrugar, contando con la participación de 30 voluntarios. A los voluntarios se les pidió que usaran únicamente el pulgar y el índice para mover objetos entre diferentes recipientes en cuatro diferentes ensayos: objetos secos, con los dedos arrugados y sin arrugar; objetos mojados, con y sin los dedos arrugados. Al final fue contabilizado el tiempo en que cada uno de los participantes tardó en mover todos los objetos en los cuatro ensayos. Se observó que los voluntarios transferían de forma más rápida los objetos mojados cuando sus dedos estaban arrugados. Por otra parte, la presencia o ausencia de arrugas no afectó la manipulación de los objetos secos. Es decir, que las arrugas de los de-

dos aumentan la adhesión a objetos y superficies mojadas. Este resultado postula una nueva interrogante: si el arrugamiento de los dedos es una característica ventajosa en condiciones húmedas y neutral en condiciones secas, ¿por qué no tenemos los dedos arrugados de forma permanente? Quizás la respuesta tenga que ver con el costo asociado en hacer los surcos de la yema de los dedos. Una de las hipótesis propuestas por este equipo de trabajo es que las arrugas convierten la piel de la palma de las manos y la planta de los pies más vulnerables a cortes y otras lesiones, por lo cual, este mecanismo sólo sería favorable si ocurriera cuando los objetos y superficies están mojados.

Los trabajos antes mencionados nos permitieron comprender un poco mejor la función del arrugamiento de los dedos inducido por humedad, pero dejaron otras preguntas abiertas. Por ejemplo, ¿este mecanismo evolucionó para esta función o es un subproducto o peculiaridad de la evolución del sistema nervioso?, ¿cuándo surgió éste mecanismo?, ¿qué papel juega la selección natural en su evolución?, ¿surgió muchas veces de forma independiente en la evolución de los primates?, ¿es una característica que estaba presente en el ancestro común más reciente de este grupo? Tal como Andrea lo menciona, los humanos, chimpancés y gorilas comparten una fracción importante de sus genomas. Sólo que ese hecho por sí solo no prueba que el arrugamiento de los dedos “resulte de una ventaja adquirida por evolución”. No obstante, el estudio comparado del arrugamiento de los dedos en del linaje de los primates podrá ayudar a responder algunas de las interrogantes que aún están pendientes de resolver (por ahora, se sabe que este mecanismo existe en los seres humanos y en primates del género *Macaca*).

CAPÍTULO 23: ORÍGENES Y CONSECUENCIAS DE LA INTELIGENCIA HUMANA

.....

¿Por qué los humanos desarrollaron un cerebro más grande que los monos?

Por Tamara Osuna, 7º grado, Colegio Marymount

Los humanos tenemos un cerebro más grande que los primates. Puede que sin nuestro enorme cerebro solo seríamos primates ordinarios. Se cree que los humanos desarrollaron un cerebro más grande por la selección

natural ya que necesitamos inteligencia para conseguir comida y refugio. El cerebro crece conforme más nutrimentos recibe. El cerebro crece más cuando estás en el útero materno. En éstos, los lóbulos occipitales (en la parte de atrás del cerebro) son más grandes que los frontales; en los humanos, ocurre al contrario. En la corteza frontal es donde parece que se ejecutan las tareas intelectuales más complejas. Particularmente un área de la zona frontal, el área de Broca, está muy relacionada con el lenguaje. Empezó a reorganizarse hace unos 2 millones de años, lo que sugiere que ya los primeros miembros del género *Homo* pudieron poseer algún tipo de capacidad lingüística rudimentaria. También se cree que los homínidos comían carne y la carne les daba proteína que les ayudo al crecimiento del cerebro.

¿Por qué el hombre tiene más capacidad de razonamiento que otros animales?

Por Luis Alfonso Hernández Vázquez, 7º grado, Colegio Marymount

Por necesidad muchos animales no necesitan nuestro tipo de razonamiento evolucionaron distinto, no necesitando nada más que garras, músculos, dientes, etc. nosotros inventamos tecnología, herramientas, etc. Y así sobrevivimos, solo evolucionamos distinto. Pero los animales, al igual que nosotros, siguen evolucionando.

La evolución no desemboca inexorablemente en inteligencia. Nuestro camino evolutivo nos llevó a la misma. Pero para que esto se dé, tienen que darse las condiciones apropiadas. Los moluscos por ejemplo son mucho más antiguos que nosotros, pero nunca desarrollaron inteligencia debido a que no tienen medios para modificar el entorno, comunicarse entre sí, desarrollar tecnología ni están preparados anatómica/fisiológicamente para ello. Yo opino que la evolución es adaptación, no progreso. Si sobrevive, perdurará. No importa cómo.

¿Es la esquizofrenia es el precio del surgimiento del lenguaje humano?

Por João Ramalhão, 12º grado, Colegio Luso Francés

La esquizofrenia es una perturbación mental crónica, grave e incapacitante que afecta a 24 millones de personas a nivel mundial lo que, si bien en términos de incidencia representa un valor relativamente bajo, en lo que respecta a su prevalencia el escenario se invierte. De hecho, los estudios indican que la esquizofrenia se ha mantenido estable a lo largo del tiempo, con una distribución uniforme a nivel mundial. Los individuos esquizofrénicos presentan dificultad para establecer relaciones lógicas y para controlar las emociones, resultando en una transformación profunda de la personalidad y en aislamiento social. Estos factores han sido asociados a un estado desventajoso en términos evolutivos pues les confieren a los individuos esquizofrénicos una menor probabilidad de generar descendencia. Siendo, de hecho, una perturbación mental ligada a una mutación genética que precedió a la migración humana desde el continente africano hace 150,000 años y, otorgando desventaja a los individuos en los que incide, ¿cómo explicar, entonces, su persistencia, contradiciendo los postulados darwinistas de la selección natural? La respuesta a esta paradoja tiene su origen en la aparición del lenguaje humano.

La lateralización cerebral permitió la especialización funcional, lo que, en el caso del lenguaje, otorgó una ventaja en la sobrevivencia de una especie que se adaptaba a nuevos ambientes y a un modo de vida en sociedad completamente nuevo. Pero, finalmente, ¿cómo relacionar esta aparición del lenguaje con la esquizofrenia? Efectivamente, los individuos esquizofrénicos poseen una disminución en la magnitud de la asimetría cerebral, lo que se expresa, por ejemplo, en una indecisión en cuanto a la mano que se usa o en una menor capacidad del habla. Asociada a esta disminución de la asimetría surge una menor dominancia de un hemisferio sobre el otro, lo que se refleja en una incapacidad de coordinar pensamientos y el habla y, a veces, una inversión total del hemisferio preponderante para el habla. Los estudios revelaron que el gene responsable de estas alteraciones está ligado a los cromosomas sexuales, hecho que corrobora las diferencias de género manifestadas en

los individuos esquizofrénicos. De hecho, la lateralización cerebral que define a la especie humana refleja una variación epigenética. Se identificaron el par de genes *Protocaderina X/Y* como los determinantes principales de la lateralidad, producidos por una duplicación en el devenir de la evolución homínida y sometido a una presión de selección positiva. La variación que predispone esta psicosis está relacionada con la lateralidad por lo que ¿será la esquizofrenia el precio del surgimiento del lenguaje humano?

Por Luis Medrano González

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Los humanos (*Homo sapiens*) nos distinguimos radicalmente de los demás seres vivos. Nuestras habilidades, cultura, conocimientos y efectos en la biósfera no tienen precedente en la historia de la vida. Los humanos sin embargo, somos el resultado de un proceso de evolución biológica, somos mamíferos placentados primates catarrinos y con todos estos animales compartimos muchos rasgos en nuestra anatomía y biología. Se conoce con cierto detalle la filogenia de nuestra especie, que ha podido trazarse hasta hace 4.4 millones de años (MA) con el registro de *Ardipithecus ramidus* en Etiopía. Esta especie ya presentaba el bipedalismo característico de los homínidos (humanos *sensu lato*) aunque su primer dígito del pie era aún oponible como en otros primates. Si queremos conocer cómo los humanos desarrollamos nuestras exaltadas capacidades, tenemos que preguntarnos cómo la evolución originó nuestra especie, cuál es la base biológica de dichas capacidades, especialmente lo que llamamos inteligencia y cómo dicha inteligencia se originó.

Los humanos nos distinguimos entre los primates por la postura erecta y locomoción bípeda, por la conformación de la mandíbula y la dentadura así como por el tamaño grande del cerebro en relación al tamaño corporal, lo cual se identifica como la base biológica de nuestra inteligencia aunque por sí solo, el gran tamaño del cerebro humano no explica sus capacidades cognitivas y motoras. El encéfalo consume una alta proporción de energía en el organismo (casi 20% en los humanos cuando el encéfalo es el 2% del peso corporal) y si tuviese una proporción de tamaño constante entre animales de diferente tamaño, consumiría una proporción mayor de la energía en animales grandes cuyo metabolismo relativo es menor. En un mamífero de 10,000 Kg, por ejemplo, un encéfalo con el 2% del peso total, consumiría el 86% de su gasto metabólico. El escalamiento alométrico del tamaño cerebral es inversamente proporcional a la tasa metabólica relativa, de manera que un mamífero de 10,000 Kg tiene en realidad un cerebro de 0.07% de su peso que consume el 3% de la energía en su metabolismo. El tamaño del cerebro humano es tres veces mayor que el tamaño esperado para primates del mismo tamaño o bien, correspondería a un primate de más de tres metros de estatura y 450 Kg de peso. El cerebro humano maximiza su tamaño después del nacimiento, lo que significa

que es neurológicamente inmaduro en esta etapa y, por lo tanto, los humanos recién nacidos son por completo dependientes del cuidado materno. Este intenso cuidado parental en los humanos y su prolongada etapa infantil posiblemente ha sido una importante base para el desarrollo de la conducta social en nuestra especie. El mantenimiento de un órgano tan demandante de energía como el cerebro humano asimismo parece asociarse a un cambio de dieta herbívora a omnívora y a una mayor eficiencia en la obtención de alimento.

Con relación a estas restricciones del desarrollo, la conducta social y la alimentación, el gran tamaño cerebral humano se originó hace 2 MA con el surgimiento de *Homo habilis* en África que fue la primera especie humana en fabricar herramientas y tenía un cerebro de 0.75 Kg. *Homo erectus* en Asia, hace 1.5 MA tenía un cerebro de 1.0 Kg. Los primeros *H. sapiens* en África, hace 400,000 años, tenían un cerebro tan grande como el de los humanos actuales (1.3 Kg en promedio). Los hombres de Neanderthal (*H. neanderthalensis*) tenían un cerebro comparable al de *H. sapiens* y habilidades mentales también similares. Sin embargo, los Neandertales tenían una faringe muy corta que debió restringir mucho sus habilidades vocales y por lo tanto, el desarrollo del lenguaje.

La neocorteza del telencéfalo (el cerebro) es la corteza neuronal más amplia en los mamíferos, ocupa la mayor parte del volumen encefálico y en ella se llevan al cabo los procesos de integración perceptiva, de locomoción, aprendizaje y memoria. La corteza cerebral en los mamíferos está regionalizada funcionalmente. En general, el lóbulo occipital integra la percepción visual, la parte dorsal del lóbulo temporal integra la audición y en los humanos las zonas aledañas están relacionadas con el lenguaje. La parte anterior del lóbulo parietal integra la información somatosensorial y la región aledaña en el lóbulo anterior (separada por la fisura central) comprende las cortezas motora y premotora. El cerebro humano se distingue, además de su gran tamaño relativo, por su particular organización anatómica y cortical, así como por la asimetría de sus hemisferios que es anatómica, histológica y funcional; especialmente en las áreas de Wernicke y de Broca, que están relacionadas respectivamente con la comprensión del lenguaje y con la producción de éste. El lóbulo olfativo en los humanos está particularmente reducido, lo cual implica que nuestra respuesta emotiva a los olores es menor que en otros primates y mamíferos. Las áreas visual, somatosensorial, motora y premotora son relativamente menores a las de otros primates pero la cortezas auditiva y prefrontal están más desarrolladas, especialmente la corteza prefrontal, que está involucrada en los procesos de autoconsciencia y planeación.

No puede caracterizarse ni compararse trivialmente algo que llamemos inteligencia entre distintas especies animales y menos al margen de sus especializaciones evolutivas y modos de vida. Podemos, sin embargo, decir que la singularidad de la inteligencia humana derivó de una conformación de la corteza cerebral necesaria para la percepción y producción del lenguaje, del cual eventualmente se desarrollaron nuestras capacidades cognitivas y creativas. El surgimiento del lenguaje como el control fino de movimientos complejos, está relacionado con la fabricación y uso de herramientas así como con la lateralización motora dada por la asimetría cerebral en la cual el hemisferio izquierdo generalmente controla sus habilidades motoras y el habla mientras que el hemisferio derecho se relaciona con tareas en las que las palabras no son esenciales; como el reconocimiento de rostros, la comprensión de relaciones

espaciales y la respuesta a señales emotivas.

La evolución del lenguaje parece una exaptación, esto es, un proceso evolutivo de adaptación de estructuras y funciones previamente existentes y no primariamente relacionadas con la función actual. Aún si no ha podido reconocerse que otras especies tengan lenguaje, sí ha podido establecerse que algunas especies pueden comprender y expresar parcialmente el lenguaje humano así como por sí mismas comunicar significados de naturaleza más bien emotiva. Esto es, en otros animales existen elementos de estructura y función de comunicación que en los humanos originaron el lenguaje. No se sabe cómo evolucionó el lenguaje humano pero se sabe que su surgimiento significó un cambio cualitativo en las capacidades cognitivas, creativas y culturales de nuestra especie y también que las vías neuronales del habla son diferentes a las de expresión de sonidos con contenidos emotivos que ocurren en otros primates y en los humanos mismos. Las áreas corticales de Broca y Wernicke se reconocen en *Homo habilis* hace 2 MA; la flexión en la base del cráneo que alarga la faringe, baja la laringe y permite la articulación fina del habla, existe bien formada en *Homo heidelbergensis* en África desde hace 600,000 años; la anatomía humana actual se remonta a hace 150,000 años. El registro del hombre de Cro-Magnon hace 40,000 años se ha indicado tradicionalmente como el surgimiento del pensamiento simbólico y una revolución tecnológica en los humanos. Sin embargo, algunos registros en África sugieren la existencia de pensamiento simbólico y por lo tanto, posiblemente de lenguaje, desde hace poco menos de 200,000 años.

Se considera que la asimetría cerebral, que es diferente en las zonas prefrontal y parieto-temporal del cerebro, permite una linearización de señales requerida para obtener significados de las palabras escuchadas y estructurar significados a las palabras pronunciadas. Al mismo tiempo, esta asimetría establece una preferencia de uso de la mano que es única en los humanos como población. Sin embargo, el origen del lenguaje y la lateralización motora en los humanos creó las circunstancias de una enfermedad específicamente humana y asociada a trastornos del lenguaje, la esquizofrenia. La esquizofrenia en sentido estricto, con presencia de síntomas nucleares como las alucinaciones verbales, afecta a aproximadamente 1/100 000 personas y esta proporción es notablemente uniforme en el mundo. La enfermedad paradójicamente persiste a pesar de que las personas con esta enfermedad tienen una fecundidad reducida. Los síntomas nucleares de la esquizofrenia representan una alteración de los procesos de conversión de pensamientos en fonologías (palabras pronunciadas) y de codificación de palabras escuchadas en significados interpretados. En la enfermedad es particularmente clara una alteración de la conciencia del yo y el otro que da coherencia a los significados en las palabras emitidas y percibidas. Asociada a alteraciones en el lenguaje, la esquizofrenia se asocia también a cambios en la lateralidad motora, específicamente a la falta de lateralidad debida a la falta de asimetría funcional. No existe una causa extrínseca de la enfermedad y su curso en la vida es más o menos fijo, lo que hace suponer que existen factores genéticos para ella que podrían relacionarse a una transposición del cromosoma X al Y (Xq21.3 a Yp11.2) hace 6 MA. Se piensa que en esta región existen genes como el de la protocaderina, que es una molécula de adhesión que determina la interacción entre las células y guía el crecimiento axónico en las neuronas.

CAPÍTULO 24: EVOLUCIÓN HUMANA RECIENTE

¿Estará el hombre sujeto aún a las leyes de la evolución?

Por Daniel João Henriques, 11º grado, Escuela Secundaria Infanta D. Maria

En las concepciones de Darwin sobre la selección natural quedó patente que la sobrevivencia es el privilegio de los más fuertes, de los que tienen una capacidad de adaptación a las adversidades del medio superior a la de sus semejantes o a las otras especies que coexisten en su hábitat. Una prueba de eso es que los seres más adaptados son aptos para procrear más y mejor que los otros, lo que es muy importante para la transmisión de su material genético a su descendencia. En la naturaleza podemos observar muchos casos prácticos de diversas adaptaciones que permiten una adecuada diseminación de la vida. Un ejemplo muy ilustrativo es el de los peces que enfrentan las adversidades naturales o artificiales en busca de aguas calmas y tranquilas, libres de depredadores, para desovar. Aquellos que no lo logran, es porque no tienen genes buenos o suficientes. Así actúa la selección natural, que a lo largo del tiempo permite una evolución de las especies en el sentido de alcanzar la máxima adaptación a un determinado medio ambiente.

Pero, ¿y el Hombre? ¿Será que el ser humano, viviendo en un ambiente artificial y sin predadores naturales, sigue sufriendo la acción de la selección natural, y por consiguiente de la evolución?

En primer lugar, hay que señalar que en el Hombre hay variación intraespecífica, igual que en las otras especies, pero también debemos distinguir entre las verdaderas adquisiciones evolutivas y otros tipos de transformaciones físicas que pueden acontecer, sin embargo, sin tener relación alguna con la evolución real. En las últimas generaciones, aparecieron varios fenómenos que llaman la atención. Uno de ellos se refiere al hecho de que el Hombre moderno es mucho más alto que el Hombre antiguo y que los jóvenes maduren

mucho más tempranamente de lo que hace apenas 100 años. Pero eso no tiene nada que ver con la evolución, sino con los diferentes tipos de alimentación que hay ahora, mucho más nutritivos en comparación con los que había hace un siglo. Merece atención, también, el derrumbe constante de las marcas deportivas. ¡Pero aquí la evolución tampoco es la responsable del éxito de los súper atletas! Éste sería atribuible a las técnicas de entrenamiento más eficientes, a un inicio más temprano en la práctica deportiva, la especialización tanto de los atletas como de sus entrenadores, mayores exigencias... esas y otras transformaciones parecidas son ejemplos de caracteres adquiridos.

Por el contrario, tomemos por ejemplo los pueblos Inuit, que viven en las regiones árticas. Ellos tienen el cuerpo compacto, robusto, y extremidades pequeñas, lo que disminuye la pérdida de calor. Los etíopes, por otro lado, son altos, larguiruchos, con extremidades largas, para perder calor más rápidamente. Estas características resultan de una selección por parte del ambiente, en el sentido de preservar a los individuos que poseen características que optimizan las pérdidas de energía en la forma de calor. Otra característica genética es el mantenimiento de la capacidad de digerir leche en la edad adulta. Normalmente los mamíferos pierden esta capacidad cuando crecen, pero en algunos seres humanos esta característica permanece, permitiendo que tenga acceso a una excelente fuente de proteínas, grasa y azúcares.

Podemos así concluir que el ser humano continúa siendo seleccionado. Pero, ¿cómo es posible que la especie humana, tan frágil cuando se la compara con las otras, haya no sólo venido a prevalecer, sino también a dominar el mundo? El Hombre se destaca de los otros animales por su perspicacia al aprovechar los conocimientos acumulados. La inteligencia hace entonces la diferencia: es indispensable para hacer del *Homo sapiens sapiens* un sobreviviente de la selección natural. Pero, ¿hasta cuándo? La verdad es que el Hombre ha desarrollado una gama de tecnologías que, con ayuda de las máquinas y de otros artificios, lo han ayudado a crear su propio ambiente artificial. Eso fue lo que nos permitió resistir por tanto tiempo, y es aquello que potencialmente podría venir a excluirnos completamente del proceso de la selección natural en el futuro, ya que los avances tecnológicos son cada vez más pronunciados.

Es previsible que en el futuro la capacidad condicionante del Hombre supere a las condicionantes del medio, y si eso ocurre, podremos entonces concluir que el Hombre del futuro tendrá una inteligencia extraordinaria, características anatómicas singulares, una vida mucho más larga y gran resistencia a las enfermedades. Todo esto habrá sido consecuencia directa de la intervención de la técnica y de la planeación artificial, sin tener nada que ver con el proceso de la evolución natural. Podemos decir, entonces, que en ese futuro no tan lejano el proceso evolutivo se habrá paralizado en la especie humana. En su lugar, la tecnología se impone como la soberana en el mundo de lo biológico.

¿Por qué los humanos no han evolucionado?

*Por Patricio Navarro Hermosillo, 7º grado,
Colegio Marymount*

Sabemos por estudios recientes que el ser humano ha estado evolucionando y está evolucionando en la actualidad, bajo el marco de los últimos 10,000 años, que es cuando empezamos a cultivar y a hacer uso del ganado. Pero, ¿y en las últimas décadas?, ¿sucede lo mismo?

Podemos creer que como se ha avanzado mucho en medicina y en higiene en este tiempo es más difícil que el ser humano esté bajo las fuerzas de selección natural, pues alguien que antes se moría por casi cualquier cosa antes de reproducirse ahora sobrevive y tiene hijos. Pues nada más lejos de la realidad, al menos según un estudio realizado por Stephen Stearns de la Universidad de Yale y sus colaboradores. La selección natural sigue ejerciendo presión sobre nuestro éxito reproductor: cuantos más niños tengamos más fácilmente podremos dispersar nuestros rasgos en la población humana futura.

Por Álvaro Chaos Cador

Facultad de Ciencias y Centro de Ciencias de la Complejidad, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Si por leyes Daniel se refiere al proceso de selección natural, la respuesta es sí. Los humanos sí evolucionamos.

Para la primera pregunta habría que hacer una aclaración sobre lo de las leyes de la evolución biológica. Es imprecisa, no hay leyes sobre la evolución biológica. La evolución biológica es un fenómeno, un hecho que sabemos ocurre en la naturaleza; sin embargo, no se puede hablar de alguna ley. Las explicaciones que construimos los biólogos que explican el proceso se sintetizan en teorías acerca de ella. Actualmente, la teoría sintética es la que más seguidores tiene.

Se debe tener cuidado con el tema del Hombre. Recuerda que son las poblaciones quienes evolucionan, no las especies. Entonces, ¿a qué población de hombres se refieren las preguntas anteriores?, ¿a los de América?, ¿a los de Europa? Tocar la evolución biológica del Hombre en general es difícil porque la humanidad se compone de innumerables poblaciones. Debes de especificar a qué población humana te refieres. Por ejemplo, los pigmeos no son más altos que nuestros antepasados.

En su respuesta, Daniel menciona que toda la evolución biológica se da por selección natural. Eso no es cierto. Hay otros procesos que intervienen en la dinámica evolutiva. La autoorganización es uno de ellos. Trata de que los organismos sólo pueden poseer ciertas formas, cierta manera de organización. Si dicha forma no es estable, serán incapaces de existir. Es como cuando pones juntos varios magnetos, únicamente hay algunas maneras de acomodarlos. Se asegura que todas las características de un organismo son adaptaciones, tampoco es correcto. Muchas características surgen colateralmente debido a la interacción entre las estructuras o procesos. Las manitas del tiranosaurio no son adaptaciones. Otro error grave es cuando se dice que el cambio de estatura de los hombres no estuvo relacionado con la evolución biológica. En primer lugar, no puedes asegurar que no se dió por selección natural, pero inclusive si ésta no participó en el proceso, la población de humanos sí cambió, eso es evolución biológica. La definición de evolución biológica no requiere que dicho cambio se dé por la selección natural, basta con que la población se transforme a lo largo de las generaciones. La distinción entre lo que llamas “adquisiciones evolutivas reales” y “otro tipo de adquisición” es absolutamente falsa.

Cuando argumentas que hemos producido medicinas contra algunos padecimientos y que por eso ya no nos afecta la selección natural, se te olvida que también los parásitos que nos producen esos malestares evolucionan y que, si se adaptan, podrán hacerse resistentes a los medicamentos. La tuberculosis y muchas enfermedades bacterianas están regresando porque las bacterias y demás microorganismos se han vuelto resistentes a nuestros antibióticos más poderosos. Que el hombre de las ciudades carezca de depredadores grandes no implica que no tenga. Existen muchos microscópicos, los cuales, a veces, son más terribles. ¿Sabías que por cada célula de tu cuerpo hay 10 bacterias? Normalmente vivimos con ellas en paz, pero en ocasiones se vuelven nocivas y peligrosas.

Aclarado lo anterior, vayamos al punto. El Hombre, como cualquier otro ser en este planeta, tiene la posibilidad de evolucionar. Señalemos un aspecto importante, la evolución biológica de una especie puede darse a distintas velocidades y en diferentes momentos. No significa que todo el tiempo esté evolucionando. Es posible que durante 100 años evolucione rapidísimo, y luego los siguientes 300 años no lo haga. Generalmente, las poblaciones evolucionan a diversas velocidades. Hay períodos en los cuales evolucionan rápidamente, en otros lapsos lo hacen lentamente e inclusive pueden no evolucionar. Por ejemplo, los tiburones no han evolucionado mucho en 450 millones de años, en cambio, todos los mamíferos se han formado en 200 millones de años. Se debe de tener presente que la evolución biológica se percibe a través de las generaciones, no del tiempo absoluto. Los ratones producen una generación en 20 días. Los leones marinos tardan un año. Mientras que los ratones producen 1,800 generaciones en un siglo, los leones marinos hacen sólo cien. En ese sentido, los roedores pueden evolucionar mucho más rápido que esos mamíferos marinos.

La selección natural es un proceso que explica cómo puede darse el cambio evolutivo, pero no es el único. Se ha opinado mucho sobre si los avances científicos y tecnológicos de la humanidad pueden liberarnos de ella. Se dice que muchas personas que antiguamente morirían ahora sobreviven gracias a la medicina. Ese argumento, parcialmente es cierto. Enfermedades antes mortales actualmente se sanan mediante diversos métodos. Así como gran cantidad de males se curan, muchos otros no y, además, han surgido enfermedades nuevas, de las cuales algunas tienen que ver con nuestra forma de vivir y con el incremento de nuestra longevidad, como el cáncer y ciertas enfermedades neurológicas (Alzheimer). Es falso que el Hombre carezca de depredadores, los tiene. Recuerda la reciente epidemia de influenza. Aquí en la Ciudad de México murieron bastantes personas y estuvimos en cuarentena cerca de un mes. La ciudad estuvo desierta como pasa en las películas.

En la otra respuesta se dice que hace 10,000 años el Hombre sí evolucionaba, ¿qué ha pasado en las últimas décadas? Es innecesario ir miles de años atrás para comprobar que el ser humano ha evolucionado. Las armaduras europeas de la Edad Media, las cuales usaban los caballeros para luchar, nos muestran un caso de la evolución humana. Si uno las mide, verá que el promedio es 1.60 m. La estatura del europeo promedio hoy en día es 1.75 m. Claramente los hombres adultos europeos no caben dentro de esas armaduras, ¿qué ha ocurrido? La población de europeos era más baja que la actual. Lo que sucedió es que, por alguna razón, se favoreció a los individuos más altos, generación tras generación se incrementó la estatura del europeo. Es posible también que la alimentación haya influido, pero aún así, es evolución biológica. Ese cambio se produjo en 500 años. Hay ejemplos más recientes. Uno de ellos está relacionado con el busto de las mujeres. La media del tamaño de los senos en los EE. UU. es 36C, hace 15 años era 34B. Cabe resaltar que, si bien las operaciones que aumentan los pechos de las mujeres son cada día más frecuentes, el aumento se debe a condiciones naturales. No está claro por qué los hombres europeos son más altos y las estadounidenses más pechugonas. Sobre la higiene suceden cosas inesperadas. Es cierto, a mayor limpieza hay menor número de enfermedades, aunque, como sucede siempre, los extremos son malos. Varios estudios hechos con niños alemanes que viven en granjas y otros que viven en las ciudades han mostrado que, cuando las condiciones son de una limpieza extrema, el aparato inmunizador es ineficiente.

Se descubrió que aquéllos que vivían en las ciudades y habitaban entornos muy asépticos, se enfermaban muchísimo más que los niños de los ambientes campiranos, quienes convivían íntimamente con la naturaleza y, por lo tanto, al lado de microbios y demás gérmenes.

La tecnología y la ciencia nos ayudan a sobrevivir; sin embargo, están muy lejos de dominar la evolución humana. Gracias a ellas hemos podido liberarnos un poquito de la selección natural, pero seguimos supeditados totalmente a la autoorganización.

CAPÍTULO 25: MEDICINA EVOLUTIVA

Después de 50 años sin ella, la tuberculosis reaparece... ¿Cómo explicaría Darwin tal acontecimiento?

Por Joana Vila, 11º grado, Grupo de Escuelas de Mogadouro

Hace ya muchos años que la tuberculosis constituyó una de las enfermedades más peligrosas y contagiosas que la humanidad haya enfrentado nunca, una verdadera epidemia silenciosa. El bacilo responsable de la mayor parte de los casos de esta enfermedad (*Mycobacterium tuberculosis*) ha sido combatido usando varios antibióticos, creados a lo largo de los años, con el propósito de erradicar esta candidata a catástrofe mundial. Hace cerca de 50 años la tuberculosis fue prácticamente extirpada de los países desarrollados, y controlada en los países en vías de desarrollo. Sin embargo, el bacilo causante de esta enfermedad volvió a darnos de qué hablar a últimas fechas. Regresando aún más fuerte y resistiendo a todos los antibióticos que anteriormente lo aniquilaban, es necesario crear y volver a crear constantemente nuevos fármacos para combatirlo, ya que cuando un nuevo antibiótico se pone en uso en el combate de la tuberculosis, comienza la cuenta atrás para que se vuelva ineficaz e inútil.

La pregunta es cómo el bacilo causante de la tuberculosis logró volverse tan imponente al punto de resistir a todos

los antibióticos usados hasta ahora para combatirlo. Para poder responder a esta pregunta es necesario analizar la línea de pensamiento de un renombrado naturalista británico, Charles Darwin. Según él, ocurrían transformaciones lentas y graduales de las especies a lo largo del tiempo originando, en muchas ocasiones, nuevas especies. Darwin coleccionó la mayor parte de las contribuciones para su teoría a través de los datos que recogió durante un viaje de circunnavegación, en especial de las observaciones hechas en las Galápagos. Todos estos datos colectados permitieron a Charles Darwin proponer a la selección natural como el mecanismo esencial que conduce a la evolución. De acuerdo con la teoría de selección natural propuesta por Darwin, los seres vivos de una población que sean más aptos, o sea, mejor adaptados a determinadas condiciones de un medio ambiente, sobreviven y transmiten los caracteres más favorables a su descendencia. Dado que el ambiente no siempre posee los recursos necesarios para la sobrevivencia de todos los individuos que nacen, tiene que ocurrir una lucha por la sobrevivencia durante la cual serán eliminados los menos aptos.

Al largo de los años el bacilo causante de la tuberculosis ha estado sujeto a una gran variedad de ambientes impregnados de medicamentos con una diversidad considerable de principios activos, que con el devenir del tiempo dejan de tener el efecto deseado sobre el bacilo. Tal acontecimiento se desencadena debido al hecho de que la especie de bacilo ha evolucionado. Según la perspectiva darwiniana, dentro de la población de bacilos de la tuberculosis (*Mycobacterium tuberculosis*) existía variación intraespecífica, habiendo bacilos menos aptos para un determinado ambiente con cierto medicamento, y otros con diferentes características que serían más aptos para ese ambiente. Los bacilos más aptos resistían a los antibióticos, por otro lado los bacilos menos aptos eran eliminados (sobrevivencia diferencial). En el largo plazo y pasadas algunas generaciones la selección natural habrá conducido a una acumulación de características propias al ambiente circundante, originando en este caso una población de bacilos muchas veces más resistentes e inmunes a los antibióticos administrados contra la tuberculosis.

La reaparición de esta enfermedad, en nuestros días, es mucho más evolucionada y peligrosa, y se debe a la

reacción diferencial que actualmente el bacilo tiene sobre los medicamentos convencionales que surtían efecto en su combate y que actualmente no lo afecta de tal manera que lo detuviera, sino más bien lo hace más fuerte y con mayor capacidad de resistencia. Si acaso ya no hubiera nuevos medicamentos y tratamientos contra la tuberculosis, sería una terrible realidad que tendríamos que enfrentar nuevamente. Así, utilizando los principios orientadores de la teoría darwiniana de la evolución de las especies, aplicada a organismos procariontes, es posible diseñar una explicación relativa a la reaparición del bacilo de la tuberculosis, más fortalecido y después de un periodo considerable de erradicación de la enfermedad.

Por Rita Campos

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

La Teoría de la Evolución sintetiza un conjunto de conocimientos que nos ayuda a comprender el mundo natural. Pero ese conocimiento no se acota únicamente dentro del campo teórico, y actualmente la teoría tiene aplicaciones prácticas en diferentes áreas fundamentales para la sociedad. Un ejemplo de esto es lo que nos describe Joana: aplicaciones en la medicina sobre lo que sabemos de la selección natural. La reaparición de enfermedades que suponían haber sido erradicadas o, al menos, controladas, como la tuberculosis, está relacionada con la aparición de ciertas estirpes de bacterias resistentes. Y ¿cómo se explica esto?, ¿cuál es la relación de este fenómeno con la teoría evolutiva? Pues bien, como lo mencioné con anterioridad, se explica de manera sencilla ya que se sabe cómo funciona la evolución, la selección natural y la competencia entre agentes infecciosos y fármacos. A decir verdad, la aparición de bacterias resistentes está prevista por la teoría de la evolución; ya que cualquier población de seres vivos que se enfrente a algún agente selectivo, y siempre y cuando exista variabilidad heredable y tiempo, evolucionará y se adaptará. En este ejemplo, el ser vivo es el bacilo de la tuberculosis *Mycobacterium tuberculosis* y el agente selectivo es el antibiótico administrado. Tal como Joana explica, basta con que en una población de bacterias exista uno pocos individuos con una mutación que les permita sobrevivir a un determinado antibiótico y así reproducirse, manteniendo dicha característica y aumentándola en frecuencia en la población. El resultado sería que, de generación en generación, el número de individuos resistentes al antibiótico aumentaría, volviéndolo ineficiente. Considerando el tiempo generacional corto y el número de individuos por generación para el caso de las bacterias, el tiempo para que toda la población se vuelva resistente al antibiótico puede ser tan corto como algunas horas. Un intervalo de tiempo dramáticamente más corto del que se necesita para el desarrollo y producción de un nuevo antibiótico.

No es, como Joana describe, que la tuberculosis “esté más evolucionada” ni que el bacilo sea “más fuerte y con mayor capacidad de resistencia”. Lo que cambió fue el número de individuos resistentes en relación con los susceptibles. Esta enfermedad reapareció debido a que la población de bacterias que la provoca se adaptó al nuevo ambiente, que fue creado a partir de la introducción de determinados antibióticos. Estas bacterias no están más evolucionadas porque la evolución no sigue una escala de progreso; sin embargo, sí se encuentran mejor adaptadas a un ambiente con antibióticos. Una nueva alteración del medio (por ejemplo, la introducción de un nuevo antibiótico) puede inicialmente conducir a la disminución de la enfermedad, pero es muy probable que el proceso se repita y la resistencia al nuevo antibiótico termine por volverse predominante, llevando de nuevo al “resurgimiento” de la enfermedad.

El estudio de la competencia entre agentes infecciosos y fármacos es solamente un ejemplo de cómo la biología evolutiva puede ayudar a comprender (y combatir) la incidencia de enfermedades. La importancia de la integración del conocimiento evolutivo en la medicina, reconocida finalmente hace unos 20 años, abarca el estudio de enfermedades metabólicas, autoinmunes, infecciosas, las interacciones hospedero-parásito o la proliferación de células cancerosas. Este conjunto de conceptos y enfoques, llamado “Medicina Evolutiva” o “Medicina Darwiniana”, se enfoca en las causas últimas, las evolutivas, de la enfermedad. El principio es que la selección natural moldeó la evolución de muchas de las características humanas, por lo cual, la enfermedad es encarada como una reacción adaptativa a cualquier perturbación (ambiental o fisiológica) o bien, como un producto secundario de otra respuesta adaptativa. De esta forma, las enfermedades metabólicas, de las cuales la diabetes tipo II es un ejemplo, o las intolerancias alimenticias, como el tan conocido síndrome de la intolerancia a la lactosa; pueden ser comprendidas de una mejor manera que sí únicamente fueran explicadas bajo el contexto de la alimentación actual o los requerimientos energéticos. El inicio de la agricultura y la sedentarización tendrá apenas cerca de 10 mil años, un intervalo de tiempo muy corto desde una perspectiva evolutiva.

La investigación médica en la búsqueda de una cura para el cáncer también se ve beneficiada por su contextualización en un marco evolutivo y de la consecuente aplicación de herramientas que hace mucho se utilizan en la biología evolutiva; por ejemplo, la reconstrucción de las relaciones evolutivas entre células cancerígenas. Considerando que cada linaje celular tiene su propia historia evolutiva, a partir de la secuencia del ADN de células en metástasis es probable identificar el origen de los tumores. Este procedimiento ya ha revelado, por ejemplo, que los tumores malignos considerados como de rápido progreso, tal como los tumores de páncreas, tienen al final una historia pre-diagnóstica bastante larga, y si es detectado oportunamente podría tener un tratamiento eficaz. Por otra parte, se pueden aplicar a las células cancerígenas los mismos principios que describimos para las bacterias y diseñar nuevas estrategias en el uso de la quimioterapia: si los tumores malignos evolucionan por la acción de la selección natural esto quiere decir que los más malignos compiten con los menos malignos; si éstos últimos mitigan la expansión de los primeros, entonces administrar dosis controladas de quimioterapia podrían ayudar a mantener la competencia y retardar la expansión de los tumores más agresivos.

La integración del conocimiento generado en el campo de la biología evolutiva en la medicina ya ha permitido avances significativos en la comprensión de la enfermedad. Su im-

portancia ha crecido en los últimos años, aunque muchos de los cursos de medicina siguen careciendo de una formación sólida en biología evolutiva. Pero ¿será la medicina evolutiva la solución para esta enfermedad? La perspectiva evolutiva coloca a la enfermedad como parte de la historia del ser humano lo que a su vez lleva la formulación de nuevas interrogantes, relativas a la perspectiva médica “tradicional”. Tal vez, en la búsqueda de respuestas a estas preguntas, se encontrarán nuevas formas de combatir las enfermedades.

CAPÍTULO 26: DARWINISMO SOCIAL

.....

Darwinismo, ¿padre del nazismo o no?

Por David Afonso, 11º grado, Grupo de Escuelas de Mogadouro

¿Será el darwinismo, la teoría que tanto nos ayudó en el proceso de la evolución del conocimiento, antecesora de un movimiento militar tan nefasto y negro como el nazismo? La respuesta a esa pregunta, desafortunadamente, es sí...

El darwinismo es una teoría que considera que en la lucha por la sobrevivencia, en una misma especie, los individuos más fuertes, aquellos que poseen las características más propicias para la sobrevivencia, son los que sobreviven en relación con los más débiles que son eliminados a través de la selección natural. El nazismo, como es del conocimiento de todos, fue un movimiento de extrema derecha dirigido por Adolf Hitler en el cual los judíos fueron martirizados y exterminados durante varios años. La relación de proximidad y de influencia entre las dos corrientes de pensamiento, que aparentemente nada tenían en común, surge por influencia de un primo de Darwin que juntando los principios de selección natural, una teoría inofensiva, con la eugenesia condujo a un extremo impensable, el nazismo.

Diez años después de la publicación de “El origen de las especies” de Darwin, surge la publicación de “La

heredabilidad del genio” de las manos de su primo, en el cual proponen una selección artificial de las nuevas generaciones, creando una especie perfecta donde sería imposible tener impurezas. Eso es el núcleo de la teoría: la eugenesia aplicada a poblaciones humanas, en la que sólo los bien nacidos, nacidos en familias nobles, tenían derecho a vivir en el mundo. Del círculo de pensadores del cual formaba parte el primo de Darwin, en conjunto con muchos otros autores, que así como él comulgaban los mismos ideales, esto se destacó, mientras que defendía que fuerzas ciegas como la selección natural deberían ser substituidas por un agente propulsor del progreso, una selección consciente en la que el Hombre debería usar todo el conocimiento con el fin de promover el progreso físico y moral en el futuro. Las ideas del libro de Galton tuvieron como consecuencia la creación de organizaciones que defendían estos conceptos con el propósito de eliminar a los portadores de problemas físicos y mentales incapacitantes. Con esto, la eugenesia sufrió una evolución y posterior aplicación en varias partes del mundo como en América y Europa, más específicamente en Alemania, que con Hitler al mando inició el caos... comenzó la “purga” de los inferiores... muerte, esclavitud... sufrimiento... hambre... falta de respeto por la dignidad humana.

Para Hitler los judíos eran de las “razas más impuras” en la faz de la Tierra, y para que la raza perfecta, los arios, tuviera lugares para habitar, los judíos fueron muertos por miles, hasta llegar a 20 millones estimados actualmente. Por todos estos relatos y registros de la historia es inevitable considerar que el darwinismo “dio a luz” un aborto malévolo, pérfido y corrupto... el tan conocido nazismo.

Por Rui Faria

*Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO),
Universidad de Porto*

La respuesta es categórica: ¡No!

Es verdad que a veces nos enfrentamos con alusiones a una posible relación entre el nazismo y el darwinismo, aunque muchas de estas tentativas de asociación tengan origen en sectores anti evolucionistas. Uno de los argumentos frecuentemente presentados por estas co-

rrientes es que algunos de los conceptos centrales de la teoría de la selección natural propuesta por Charles Darwin como una “lucha por la existencia” o “la sobrevivencia del más eficaz” fueron la base de algunos de los ideales más atroces del nazismo. Entre estos, la eliminación de las “razas humanas inferiores” y la guerra entre los pueblos como un medio para eliminar a los elementos menos capaces de las “razas humanas superiores”, con el objetivo, según la ideología nazi, de “perfeccionar a la especie humana”, acabarían por tener las consecuencias desastrosas que todos conocemos.

Sin embargo, estas acusaciones son ampliamente infundadas. Tal como ha sido argumentado por Richard Dawkins el punto común entre el nazismo y el darwinismo es que ambos se basan en los principios de selección artificial; es decir, los métodos de selección y mejoramiento practicados por los criadores de razas y variedad de animales y plantas domésticos. Las diferencias comienzan cuando Darwin aplica esos principios a la naturaleza, mientras que Hitler los aplica a la especie humana. Esta es una diferencia fundamental. La selección artificial en los humanos es un componente central de la eugenesia (la noción de que es posible mejorar o perfeccionar el patrimonio genético de los seres humanos), la cual fue llevada a un extremo por el régimen nazi, entre otros. “Sin embargo, es importante recalcar que la eugenesia no es lo mismo que darwinismo” (R. Dawkins). Las características que surgieron en la especie humana a través de la acción de la selección natural difícilmente serían las mismas si hubieran sido seleccionadas por los propios humanos y viceversa. La selección natural no nos lleva necesariamente al individualismo o a la guerra entre grupos étnicos. Por el contrario, según Dawkins, hasta puede estar en el origen de la cooperación entre individuos o pueblos e incluso en el altruismo entre humanos. Por el mismo principio, no podemos usar al darwinismo como una base de apoyo científico para justificar el capitalismo.

Se puede argumentar que el darwinismo, a pesar de no haber sido fuente de inspiración del nazismo, fue usado como base científica para justificar las más bárbaras prácticas nazis. Sin embargo, no podemos confundir una ideología política (y social) con una teoría científica. El conocimiento científico en sí no debe ser clasificado como “bueno” o “malo”. Lo que es bueno o malo es el uso que se dé a ese conocimiento. A este respecto, no existe nada tan perjudicial como apoyarse en una teoría científica, aunque ese apoyo sea infundado e inexistente, para dar credibilidad a una idea que desde el inicio es nefasta para la sociedad, como la de “la supremacía de una raza”. En primer lugar, la corriente dominante desde hace muchos años en biología es que no existen fundamentos biológicos ni genéticos para clasificar a los individuos de nuestra especie en las diferentes razas tradicionalmente consideradas. Por ejemplo, podría haber más diferencia genéticas entre los individuos de una misma “raza” que entre dos que pertenecieran a “razas” diferentes. De hecho, es sorprendente que a pesar del grado de mestizaje existente en el mundo de hoy, se continúe dando más importancia a las diferencias que al gradiente de color de la piel en los humanos. En segundo lugar, gran parte de los ciudadanos que defienden al darwinismo (sean científicos o no) comparten valores como la bondad, amabilidad, empatía, unión y cooperación entre pueblos, tal como lo hacen mayor parte de los humanos. Entonces, el darwinismo no puede ser considerado una mala influencia en la construcción de una sociedad. Lo que ocurrió en el pasado fue que el nazismo usó una teoría científica (el darwinismo) para apoyar su doctrina, a pesar de las diferencias fundamentales

entre éstas. Defender al nazismo no implica estar de acuerdo con la selección natural; si fuera así, se debería dejar que la naturaleza actuara como un agente selectivo, en vez del Hombre. Asimismo, defender al darwinismo está lejos de significar un apoyo al nazismo; ya que, tal como ocurre en otras especies, la selección natural siempre tendrá la última palabra en el juego de la evolución humana.

Es importante señalar que las amenazas como el nazismo no desaparecerán completamente de la sociedad. No sólo continuarán existiendo los grupos nazis, incluso podrían proliferar en algunas partes del mundo. Igualmente, las reminiscencias de la eugenesia están al acecho ante cualquier oportunidad que produzca el desarrollo científico en las áreas de la reproducción y la maquinaria genética. A este nivel, la posibilidad de preseleccionar características de los que van a nacer a través de la manipulación genética lleva enormes desafíos éticos. ¿Hasta qué punto será útil o benéfico ejercer este tipo de selección artificial? La respuesta normalmente varía conforme nos referimos a una enfermedad o a un rasgo (por ejemplo, el color de los ojos), así como si los interlocutores son sacerdotes, médicos o antropólogos. Los desafíos éticos que nos esperan son enormes y los límites no siempre serán fáciles de encontrar. Pero, tal como se dijo anteriormente, no hay conocimiento científico bueno o malo. Lo que estará sujeto a esta aplicación de valores será el uso que demos a este tipo de avances tecnológicos. Lo más importante es que la sociedad esté preparada para reaccionar oportuna y proporcionalmente contra el tipo de atrocidades como las que fueron cometidas por el nazismo, si algún día algo semejante sucediera, sea por motivos ideológicos, étnicos o religiosos. Cualquiera que sea el camino delineado, nuestra especie no conseguirá engañar para siempre al poder de la selección natural.

PARTE II

IDEAS

EQUIVOCADAS

SOBRE LA

EVOLUCIÓN

Desafortunadamente, muchas personas tienen conceptos erróneos y persistentes sobre la evolución. Algunos son simples malentendidos, como las ideas que se desarrollan en las clases sobre evolución, posiblemente por experiencias de la escuela y/o a través de los medios de comunicación. Otros conceptos erróneos pueden ser resultado de intentos deliberados de tergiversar la Teoría de la Evolución y dificultar la comprensión del público sobre este tema.

En este capítulo se presentan algunos de los conceptos erróneos más comunes sobre la evolución, así como la aclaración de estos errores. Salvo en lo que respecta a los cuatro últimos conceptos erróneos, que fueron identificados por la profesora Paula Paiva, de la Escuela Secundaria José Falcão (Coimbra) y corregidos por Rita Campos, del Centro de Investigación en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIBIO/InBIO), Universidad de Porto; el contenido de este capítulo es una traducción de “*Misconceptions about Evolution*”, del sitio educativo “*Understanding Evolution*”. Los conceptos marcados con un guión bajo se definen en el Glosario.

En el blog “*Um livro sobre evolução*” (<http://umlivrosobreevolucao.blogspot.com>) y en el sitio “*Understanding Evolution*” se pueden encontrar sugerencias de lectura de otros artículos al final de algunas correcciones.

Traducido de *Understanding Evolution*, con permiso.
("Misconceptions about Evolution." *Understanding Evolution*.
University of California Museum of Paleontology. 22
August 2008 <http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions_faq.php>.)

1. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN Y LOS PROCESOS EVOLUTIVOS

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución es una teoría sobre el origen de la vida

CORRECCIÓN: De hecho, la teoría de la evolución sí incorpora ideas y pruebas relacionadas con el origen de la vida (por ejemplo, si ocurrió o no en una fosa hidrotermal en el fondo del océano, cuál molécula orgánica se produjo primero; etc.) pero este no es el tema central de la evolución. La mayoría de los biólogos evolutivos estudian cómo ha cambiado la vida después de su origen. Independientemente de cómo se originó la vida, después de eso se diversificó y la mayoría de los estudios sobre evolución se centran en estos procesos.

CONCEPTO ERRÓNEO: La teoría evolutiva implica que la vida ha evolucionado (y sigue evolucionando) de forma aleatoria o al azar

CORRECCIÓN: El azar y la aleatoriedad influyen en la evolución y la historia de la vida de maneras muy diferentes; sin embargo, algunos de los mecanismos evolutivos importantes no son al azar y esto hace que todo el proceso sea no aleatorio. Por ejemplo, si se considera el proceso de la selección natural, que resulta en adaptaciones; es decir, características de los organismos que parecen encajar en el medio ambiente en el que viven (por ejemplo, el acoplamiento entre la flor y su polinizador, la coordinación de la respuesta inmune contra los patógenos y la capacidad de ecolocalización en los murciélagos). Estas increíbles adaptaciones claramente no ocurrieron “por casualidad”. Evolucionaron a través de una combinación de procesos aleatorios y no aleatorios. El proceso de la mutación, que genera la variación genética, es al azar, pero la selección natural no es aleatoria. La selección favoreció a las variantes que eran más capaces de sobrevivir y reproducirse (por ejemplo, para ser polinizadas, para defenderse de los patógenos o para orientarse en la oscuridad). Las adaptaciones evolucionaron durante muchas generaciones con mutaciones aleatorias y selección no aleatoria. Decir que la evolución ocurre “por casualidad” omite la mitad de la historia.

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución implica progreso; los organismos están en constante mejora a través de la evolución

CORRECCIÓN: Un mecanismo evolutivo importante, la selección natural, resulta en la evolución de habilidades mejoradas para la supervivencia y la reproducción; sin embargo, esto no quiere decir que la evolución es progresiva - por varias razones.

En primer lugar, tal como se describe en la corrección del concepto erróneo

“La selección natural produce organismos que se adaptan perfectamente a su medio ambiente,” la selección natural no produce organismos perfectamente adaptados a su entorno. A menudo permite la supervivencia de individuos que tienen cierto intervalo de características - individuos que son “suficientemente buenos” para sobrevivir. Por lo tanto, los cambios evolutivos no siempre son necesarios para que una especie persista. Muchos taxones (como los musgos, los hongos, los tiburones, los didelfimorfos [mamíferos marsupiales americanos, del orden Didelphimorphia] o los cangrejos de río) han cambiado poco físicamente durante largos períodos de tiempo. En segundo lugar, hay otros mecanismos evolutivos que no causan cambios adaptativos. La mutación, la migración y la deriva genética pueden conducir a que las poblaciones evolucionen en direcciones que en gran medida son perjudiciales o que las hace menos adecuadas a su medio ambiente. Por ejemplo, la población afrikáner de Sudáfrica tiene una frecuencia alta muy inusual de la variante genética que causa la enfermedad de Huntington porque la deriva genética aumentó su frecuencia, ya que la población creció a partir de una pequeña población fundadora. Por último, la noción de “progreso” no tiene sentido cuando se habla de la evolución. El clima cambia, los ríos cambian su curso, llegan nuevos competidores; de tal manera que un organismo con una característica que es beneficiosa en una situación, puede quedar mal equipado para sobrevivir cuando el medio cambia. Aún si nos concentráramos en un solo ambiente o hábitat, la manera de medir el “progreso” estaría sesgada por la perspectiva del observador. Desde la perspectiva de una planta la mejor medida del progreso puede ser la capacidad de realizar fotosíntesis; desde la de una araña puede ser un sistema eficiente de transferencia de veneno; desde la de un humano, la capacidad cognitiva. Es tentador ver a la evolución como una gran escala progresiva donde el *Homo sapiens* ocupa la parte superior. Pero la evolución produce más bien la figura de un árbol, no la de una escalera, y nosotros sólo somos una de las muchas ramas de ese árbol.

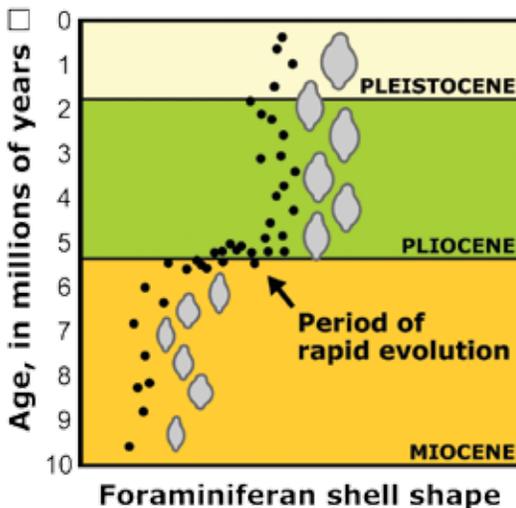
CONCEPTO ERRÓNEO: Los organismos pueden evolucionar en el transcurso de su vida

CORRECCIÓN: La definición de evolución biológica está basada en los cambios en la composición genética de las poblaciones a través del tiempo. Son las poblaciones, no los individuos, las que evolucionan. Los cambios que se producen en un individuo durante su vida pueden ser de desarrollo (por ejemplo, un pájaro macho al cual le crece más plumaje de color cuando alcanza la madurez sexual), o puede ser causada por la forma en que el medio afecta a un organismo (por ejemplo, un pájaro que pierde plumas porque está infectado por parásitos); sin embargo, estos cambios no son causados por cambios en los genes.

A pesar de que sería útil tener cambios adaptativos en nuestros genes causados por el ambiente - ¿Quién no hubiera deseado tener una variante de resistencia genética a la malaria cuando se encontraba de vacaciones en Mozambique? - la evolución no funciona de esa manera. Las nuevas variantes genéticas (es decir, alelos) se producen por mutaciones al azar y, posteriormente, durante muchas generaciones la selección natural puede promover variantes beneficiosas, haciendo que se vuelvan más comunes en la población.

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución sólo se produce lenta y gradualmente

CORRECCIÓN: La evolución se produce lenta y gradualmente, pero también puede ocurrir rápidamente. Tenemos varios ejemplos de evolución lenta y gradual (por ejemplo, la evolución gradual de las ballenas a partir de un ancestro mamífero terrestre, tal como se documenta en el registro fósil); pero también sabemos que en muchos casos la evolución se produjo rápidamente. Por ejemplo, tenemos un registro fósil detallado que muestra cómo algunas especies de organismos unicelulares, llamados foraminíferos, evolucionaron nuevas formas en un “parpadeo” geológico, como se muestra abajo.



Eje horizontal:
forma de la concha
de foraminíferos;
eje vertical: tiempo
en millones de
años; flecha:
período de
evolución rápida

Del mismo modo, podemos ver episodios de evolución rápida que suceden a nuestro alrededor todo el tiempo. Durante los últimos 50 años se ha observado ardillas evolucionando a temporadas reproductivas nuevas en respuesta al cambio climático; una especie de pez evolucionó resistencia a las toxinas vertidas ilegalmente en el río Hudson, en los Estados Unidos de América; y muchos microbios han evolucionado resistencia a nuevos antibióticos. Hay varios factores que pueden favorecer una evolución rápida

- poblaciones de tamaño pequeño, tiempos generacionales cortos, o grandes cambios en las condiciones ambientales - y la evidencia establece claramente que esto ha sucedido varias veces.

CONCEPTO ERRÓNEO: Ya que la evolución es lenta, los seres humanos no la pueden influenciar

CORRECCIÓN: Como se describe en la corrección del concepto erróneo “la evolución sólo se produce lenta y gradualmente,” la evolución a veces se produce rápidamente. Y dado que los humanos con frecuencia causamos grandes cambios en el ambiente, somos a menudo los instigadores de la evolución de otros organismos.

Algunos ejemplos de la evolución causados por acciones humanas incluyen los casos en que: i) varias especies han evolucionado como consecuencia del cambio climático; ii) algunas poblaciones de peces han evolucionado como consecuencia de nuestras prácticas pesqueras; iii) algunos insectos, como las chinches, o las plagas agrícolas han evolucionado resistencia a nuestros pesticidas, iv) las bacterias, el VIH, los parásitos que causan la malaria y las células cancerosas han evolucionado resistencia a los fármacos.

CONCEPTO ERRÓNEO: La deriva genética ocurre solamente en poblaciones pequeñas

CORRECCIÓN: La deriva genética tiene un efecto mayor en las poblaciones pequeñas, pero el proceso ocurre en todas las poblaciones - grandes o pequeñas. La deriva genética se debe a que, por azar, los individuos que se reproducen pueden no representar plenamente el acervo genético de toda la población. Por ejemplo, en una generación de una población de ratones en cautiverio los individuos de pelo castaño puede reproducirse más que los de pelo blanco, causando que la versión del gen que codifica el pelo marrón aumente su frecuencia en la población; pero no porque haya beneficios de supervivencia, esto se debe sólo a la casualidad. El mismo proceso ocurre en poblaciones grandes: algunos individuos pueden tener suerte y dejar muchas copias de sus genes a la generación siguiente; mientras que otros pueden tener mala suerte y dejar menos copias. Esto hace que la frecuencia de las diferentes versiones de un gene tenga fluctuaciones (“deriven”) de generación en generación. Sin embargo, en las poblaciones grandes los cambios en las frecuencias de las diferentes versiones de un gene, de generación en generación, tienden a ser pequeñas; mientras que en poblaciones pequeñas estos cambios suelen ser mayores.

Independientemente de que tenga un impacto mayor o menor, la deriva genética siempre ocurre en todas las poblaciones. También es importante tener en cuenta que la deriva genética actúa al mismo tiempo que otros mecanismos evolutivos, tales como la selección natural o la migración.

CONCEPTO ERRÓNEO: Los seres humanos no están evolucionando

CORRECCIÓN: Actualmente, los seres humanos somos capaces de modificar el ambiente con la tecnología. Inventamos tratamientos médicos, prácticas agrícolas y estructuras económicas que cambian de manera significativa los desafíos de reproducción y supervivencia que enfrentamos. Así, por ejemplo, al tratar la diabetes con insulina en los países desarrollados, la versión genética que contribuye a la diabetes juvenil ya no está bajo la influencia de la selección negativa (es decir, ya no se selecciona fuertemente para que desaparezca). Algunos han argumentado que tales avances tecnológicos significan que hemos optado por excluirnos del juego de la evolución y ponernos fuera del alcance de la selección natural; o sea que, en esencia, hemos dejado de evolucionar. Sin embargo, este no es el caso.

Los seres humanos seguimos enfrentando desafíos para la supervivencia y la reproducción, sólo que no son los mismos de hace 20,000 años. La dirección de nuestra evolución ha cambiado, pero no el hecho de que ésta ocurre.

Por ejemplo, los seres humanos modernos que viven en zonas densamente pobladas se enfrentan a mayores riesgos de enfermedades epidémicas de los que tuvieron nuestros antepasados cazadores-recolectores (quienes, en su cotidiano hacer, nunca estuvieron en contacto de manera directa con tanta gente) - y esta situación favorece la difusión de versiones genéticas que nos protegen de estas enfermedades.

Los científicos han encontrado muchos casos de evolución humana reciente. En el blog "*Um livro sobre evolução*" o en el sitio "*Understanding Evolution*" se puede encontrar enlaces para aprender más acerca de: i) la evidencia genética de la evolución humana reciente; ii) la evolución reciente de adaptaciones que permiten a los seres humanos vivir a gran altitud; iii) la evolución reciente de los rasgos genéticos humanos que nos protegen de la malaria y iv) la evolución reciente de la tolerancia a la lactosa en los seres humanos.

CONCEPTO ERRÓNEO: Las especies son entidades naturales distintas, con una definición clara y son fácilmente distinguibles por cualquier persona

CORRECCIÓN: Muchos están familiarizados con el concepto biológico de especie, que define una especie como un grupo de individuos que en la naturaleza (o potencialmente) son capaces de reproducirse. Esta definición puede parecer precisa y lógica (y funciona bien para muchas especies; por ejemplo, en los mamíferos), pero en muchos otros casos es difícil de aplicar. Por ejemplo, la mayoría de las bacterias se reproducen asexualmente. En tales casos, ¿se puede aplicar el concepto de especie biológica? Muchas plantas y algunos animales producen híbridos en la naturaleza, aun cuando mayoritariamente se cruzan entre individuos de su propio grupo. En este caso, ¿los grupos que producen híbridos en áreas específicas deben ser

considerados de la misma especie o de especies diferentes?

El concepto de especie es difuso porque los humanos lo inventamos para facilitar la comprensión de la diversidad en mundo natural. Es difícil aplicarlo debido a que la designación de especies refleja nuestro intento de dar nombres discretos a diferentes partes del árbol de la vida - el cual no es discreto, sino continuo, con vínculos desde sus raíces hasta sus hojas.

2. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA SELECCIÓN NATURAL Y LA ADAPTACIÓN

CONCEPTO ERRÓNEO: La selección natural implica que los organismos tratan de adaptarse

CORRECCIÓN: La selección natural conduce a la adaptación de las especies a través del tiempo, pero este proceso no implica esfuerzos, intentos, o deseos. La selección natural resulta naturalmente de la variación genética en una población y el hecho de que algunas de estas variantes puedan ser capaces de dejar más descendientes en la próxima generación que otras. Esta variación genética es generada por mutación aleatoria, un proceso que no se ve afectado por lo que los organismos de una población quieran o lo que estén “tratando” de hacer. Un individuo simplemente tiene o no los alelos que son lo suficientemente buenos para su supervivencia y reproducción; no los puede conseguir “deseándolos” o “intentando”. Por ejemplo, las bacterias no evolucionan resistencia a nuestros antibióticos porque lo “intentan” con muchas ganas. Al contrario, la resistencia ocurre por que hay mutaciones aleatorias que azarosamente producen individuos que son más capaces de sobrevivir al antibiótico y estos individuos pueden reproducirse más que otros, aumentando el número de las bacterias resistentes.

CONCEPTO ERRÓNEO: La selección natural da a los organismos lo que necesitan

CORRECCIÓN: La selección natural no tiene intención ni sentido, no se puede predecir lo que “necesita” una especie o un individuo. La selección actúa sobre la variación genética de una población y esta variación genética es generada por mutaciones aleatorias, las cuales no se ven afectadas por

las necesidades de los organismos de una población. Si ocurre que una población tiene variación genética que permite que algunos individuos sobrevivan o se reproduzcan más frente a un desafío que otros, entonces éstos tendrán más descendientes en la generación siguiente y la población va a evolucionar por selección natural de ese rasgo. Si, en cambio, no hay esas variantes genéticas en la población, la población puede sobrevivir de todas maneras (pero no evolucionar por selección natural) o quizá desaparecer. Pero la selección natural no le dará lo que “necesita”.

CONCEPTO ERRÓNEO: Los seres humanos no tienen un impacto negativo en los ecosistemas porque las especies simplemente evolucionarán lo que necesiten para sobrevivir

CORRECCIÓN: Como se describe en el concepto erróneo anterior (“La selección natural da lo que necesitan a los organismos”) la selección natural no provee automáticamente a los individuos las características de que “necesitan” para sobrevivir. Claro que algunas especies pueden tener características que les permiten un mayor éxito bajo los cambios ambientales causados por los seres humanos, pero otras pueden no tenerlas y extinguirse.

Si una población o especie no tiene la variación genética apropiada, no va a evolucionar en respuesta a los cambios ambientales causados por los seres humanos; independientemente de si esos cambios son causados por la contaminación, el cambio climático, las invasiones de hábitat o por otros factores. Por ejemplo, ya que los cambios climáticos producen que los glaciares del Océano Ártico se adelgacen y se derritan cada vez más temprano en el año, los osos polares tienen más dificultades para conseguir comida. Si las poblaciones de oso polar no tienen alguna variación que permita que algunos individuos tengan oportunidades de caza que no dependan de los bloques de hielo en el mar, este animal puede llegar a extinguirse en la naturaleza.

CONCEPTO ERRÓNEO: La selección natural actúa para beneficiar a la especie

CORRECCIÓN: Cuando oímos hablar de altruismo en la naturaleza (por ejemplo, delfines que gastan energía para cuidar de un individuo enfermo o un suricato que alerta a los otros de la proximidad de un depredador, incluso si el individuo que da la alarma corre más peligro) es tentador creer que estos comportamientos aparecieron por selección natural para favorecer la supervivencia de la especie; es decir, que la selección natural promueve conductas que son buenas para la especie en su conjunto, incluso si son desfavorables o ponen en peligro a algunos individuos de esa población. Sin embargo, esta impresión es incorrecta. La selección natural no anticipa

o tiene intenciones; simplemente selecciona los individuos de una población, favoreciendo características que permiten a los individuos sobrevivir y reproducirse más, produciendo más copias de los genes de estos individuos en la generación siguiente. De hecho, en teoría, una característica que es ventajosa para el individuo (por ejemplo, ser un depredador eficiente) puede llegar a ser cada vez más común y, eventualmente, conducir a la extinción de toda la población (por ejemplo, si la depredación efectiva llega a extinguir a toda la población de la presa, dejando a los depredadores sin fuente de alimentación). Entonces, ¿cuál es la explicación que da la evolución para el origen del altruismo si no es por el beneficio de toda la especie? Estos comportamientos pueden evolucionar de muchas maneras. Por ejemplo, si las acciones altruistas son “pagadas” en otras ocasiones, este tipo de comportamiento puede ser favorecido por la selección natural. Del mismo modo, si el comportamiento altruista aumenta la supervivencia y la reproducción de un pariente cercano del individuo (quien es probable que tenga las mismas variantes genéticas para el altruismo), este comportamiento se puede propagar a través de la población mediante la selección natural.

Los estudiantes avanzados de biología evolutiva pueden estar interesados en saber que la selección actúa en diferentes niveles y que, en determinadas circunstancias, se puede producir la selección a nivel de especie. Sin embargo, es importante recordar que incluso en este caso, la selección no tiene visión de futuro y no está “apuntando” en ninguna dirección, sólo favorece a las unidades reproductivas que son mejores para dejar copias de sí mismas en la siguiente generación.

CONCEPTO ERRÓNEO: En una población, los organismos con mejor eficacia son los más fuertes, más sanos, más rápidos y/o más grandes

CORRECCIÓN: En la evolución biológica, la eficacia (o adecuación) tiene un significado diferente del significado común de la palabra. La eficacia evolutiva de un organismo no dice nada acerca de su salud, sino más bien sobre su capacidad para transmitir sus genes a la siguiente generación. Cuantos más descendientes fértiles deja un individuo, más eficaz es. Esto no necesariamente se correlaciona con su fuerza, velocidad o tamaño. Por ejemplo, un macho pequeño de una especie de ave con plumas de la cola brillantes puede dejar más descendencia que un macho fuerte, pero más oscuro. Asimismo, una planta frágil con grandes vainas llenas de semillas puede dejar más descendencia que un espécimen de mayor tamaño - es decir, el pájaro pequeño y la planta frágil tienen más eficacia evolutiva que sus iguales más fuertes y más grandes.

CONCEPTO ERRÓNEO: En la evolución por selección natural sólo sobreviven los individuos con la mayor eficacia

CORRECCIÓN: Aunque la “supervivencia del más eficaz” es el lema de la selección natural, decir “la supervivencia del que es lo suficientemente eficaz” es más apropiado. En la mayoría de las poblaciones sobreviven organismos con muy diferentes variantes genéticas y al reproducirse dejan descendencia, la cual lleva sus genes a la siguiente generación. No sólo los primeros o segundos “mejores” pasan sus genes a la generación siguiente. Esto es visible en las poblaciones de nuestro entorno: por ejemplo, una planta puede no tener los alelos para florecer en una sequía o un depredador puede no ser lo suficientemente rápido para capturar presas cuando tiene hambre. Estos individuos pueden no ser los “más eficaces” de la población, pero pueden ser “suficientemente aptos” para reproducirse y transmitir sus genes a la generación siguiente.

CONCEPTO ERRÓNEO: La selección natural produce organismos adaptados perfectamente a su ambiente

CORRECCIÓN: La selección natural no es todopoderosa. Hay varias razones por las que la selección natural no puede producir características “perfectamente diseñadas”. Por ejemplo, los seres vivos están conformados por características que a veces forman un conjunto complicado de contraposiciones; es decir, las mejoras de una característica pueden resultar en cambios negativos en otra (por ejemplo, un pájaro con el plumaje de la cola “perfecta” para atraer a sus parejas puede ser particularmente vulnerable a los depredadores). Otra razón es que las especies surgieron de historias evolutivas complejas (y no de un proceso planeado o diseñado); por lo que su futuro evolutivo está frecuentemente condicionado a las características que desarrollaron en su pasado. Por ejemplo, incluso si fuera ventajoso para un insecto desarrollarse de otra manera que no sea a través de la muda de su exoesqueleto, este cambio simplemente no sucederá porque la muda es parte de la composición genética de los insectos en varios niveles.

CONCEPTO ERRÓNEO: Todas las características de un organismo son adaptaciones

CORRECCIÓN: Como los organismos tienen adaptaciones muy impresionantes (camuflaje increíble, trucos para la captura de presas, flores que atraen sólo a determinados polinizadores, etc.) es fácil suponer que todas las características de los organismos son de algún modo adaptativas; ya que cuando se observa alguna característica en un organismo, de forma automática uno se pregunta “¿para qué sirve?” Si bien es verdad que algunas características son adaptativas, es importante recordar que muchas no lo son. Algunas pueden ser una casualidad de la historia; por ejemplo,

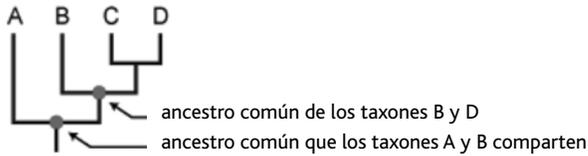
la secuencia de bases GGC, que codifica para el aminoácido glicina, es ésta y no otra simplemente porque en la historia ésta fue la secuencia original; nosotros simplemente hemos heredado esa secuencia de nuestro ancestro común. No hay nada especial en que sea la secuencia GGC la que codifica para glicina, pudo haber sido cualquier otra. Se trata de un accidente histórico que permaneció.

Hay atributos que pueden ser el producto secundario de otras características. Por ejemplo, el color de la sangre no es adaptativo. No hay ningún elemento para decir que tener la sangre de color rojo es mejor que tener la sangre verde o azul. El rojo de la sangre es un resultado secundario de su química, que refleja la luz roja. La química de la sangre puede ser una adaptación, pero no su color.

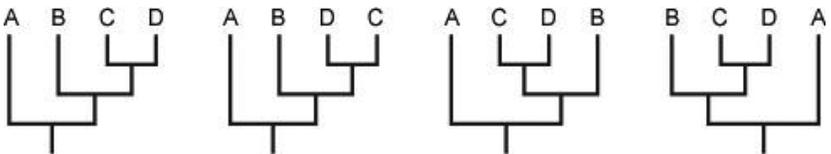
3. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LOS ÁRBOLES EVOLUTIVOS

CONCEPTO ERRÓNEO: Los taxones adyacentes en las puntas de las ramas de una filogenia están más relacionados entre sí que con cualquier otro taxón en puntas más lejanas

CORRECCIÓN: En una filogenia, la información sobre el parentesco está representada por el patrón de ramificación y no por el orden de los taxones en las puntas de las ramas del árbol. Los organismos que comparten un punto de ramificación más reciente (es decir, un ancestro común más reciente) son parientes más cercanos que especies conectadas por un punto de bifurcación anterior (es decir, uno que está más cerca de la raíz del árbol). Por ejemplo, en el árbol que se muestra abajo el taxón A se encuentra junto al B y más alejado del C y D. Sin embargo, el taxón A está igualmente relacionado (ni más cercano, ni más lejano) con los taxones B, C y D. El ancestro común o punto de ramificación compartido por A y B es el mismo que el ancestro compartido por el A y C y lo mismo para A y D (marcado en la figura como el punto inferior). De forma similar, el taxón B está junto al taxón A, pero B es en realidad más cercano a D porque B y D comparten un ancestro común entre sí más recientemente que con A (marcado en punto superior del árbol de abajo).

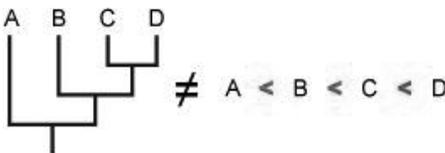


Puede ser útil recordar que el mismo conjunto de relaciones (la topología del árbol) se puede representar de muchas maneras diferentes. Las filogenias siguientes representan exactamente las mismas relaciones entre los taxones. Aunque cada filogenia abajo tiene un orden diferente de taxones en las puntas de las ramas, todas representan el mismo orden de ramificación. En una filogenia, la información está contenida en el orden de ramificación y no en el cómo están dispuestos los taxones en las puntas del árbol.

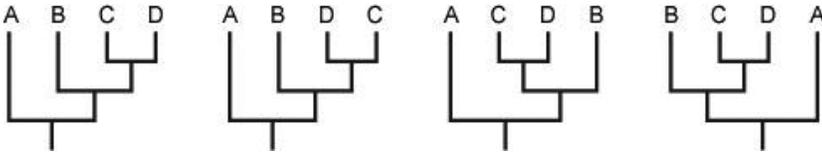


CONCEPTO ERRÓNEO: Los taxones que aparecen cerca de la parte superior o a la derecha de la filogenia son más avanzados que los otros organismos del árbol

CORRECCIÓN: Este concepto erróneo abarca dos mal entendidos. En primer lugar, en un contexto evolutivo las expresiones como “primitivo” y “avanzado” no se aplican, ya que se refieren a juicios de valor que no tienen cabida en la ciencia. La forma particular de una característica puede ser la forma *ancestral* de otra, más *derivada*; pero decir que una es primitiva y la otra avanzada implicaría que la evolución involucra progreso y no es así. (Para más información, revisa el concepto erróneo “La evolución implica progreso; los organismos están en constante mejora a través de la evolución”.) Además, la posición de una especie en una filogenia únicamente indica su relación con las otras especies y no qué tan adaptativas o especializadas son sus características. Por ejemplo, en el árbol de abajo el taxón D puede ser más o menos especializado que los taxones A, B y C.

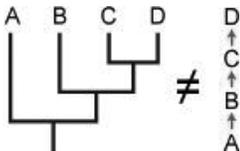


Puede ser útil recordar que el mismo conjunto de relaciones se puede representar de muchas maneras diferentes. En una filogenia, la información está contenida en el orden de ramificación y no por la disposición de los taxones en las puntas de las ramas. Las filogenias siguientes son equivalentes pero se han colocado taxones diferentes en el lado derecho. Como se puede apreciar, no hay ninguna relación entre el orden de los taxones en las puntas de una filogenia y las características evolutivas que podrían ser consideradas “avanzadas”.

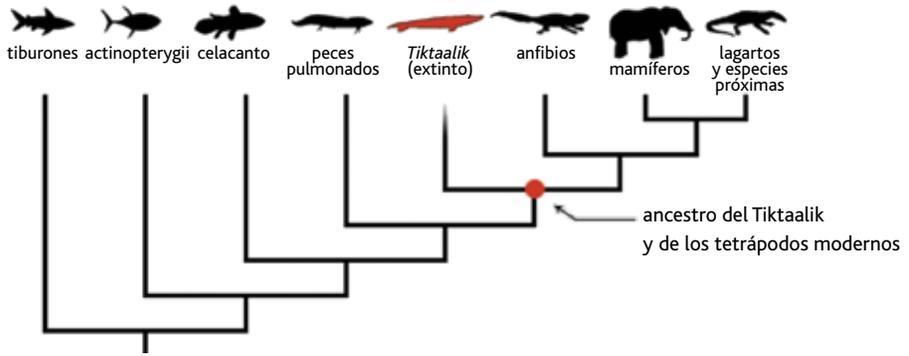


CONCEPTO ERRÓNEO: Los taxones que aparecen en la parte inferior o del lado izquierdo de la filogenia representan a los antepasados de las otras especies en el árbol

CORRECCIÓN: En las filogenias, las formas ancestrales están representadas por las bifurcaciones y las ramas que le anteceden y no en las puntas del árbol. Las puntas de los árboles (independientemente de dónde se encuentren; sea la cima, base, izquierda o derecha) representan los descendientes y el árbol representa las relaciones entre estos descendientes. En la filogenia de abajo el taxón A es “primo” de los taxones B, C y D, no su antepasado.

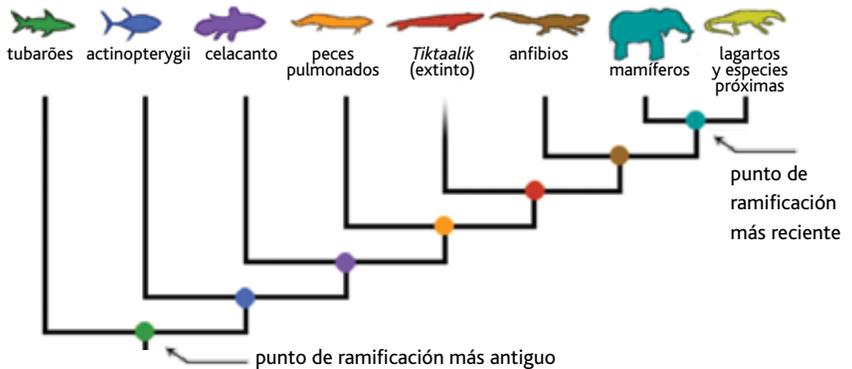


Esto es cierto incluso si la especie que se muestra en la filogenia está extinta. Por ejemplo, el *Tiktaalik* (mostrado en la filogenia de abajo) es un organismo extinto, parecido a un pez y pariente cercano de los ancestros de los anfibios, mamíferos y lagartos modernos. A pesar que el *Tiktaalik* es un género ya extinto, eso no es suficiente para asegurar que se trate de una forma ancestral y, por tanto, se representa en una de las puntas de la filogenia y no como una rama interna o nodo. El verdadero antepasado del *Tiktaalik*, así como el de los anfibios, mamíferos y lagartos modernos está señalado con una flecha en la filogenia de abajo.

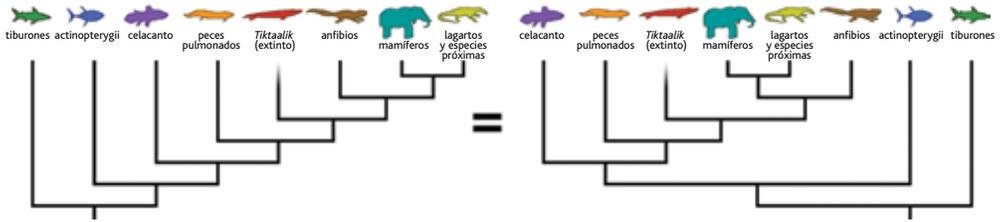


CONCEPTO ERRÓNEO: Los taxones que aparecen cerca de la base o en el lado izquierdo de la filogenia evolucionaron (o “aparecieron”) antes que los otros taxones del árbol

CORRECCIÓN: En una filogenia es el orden de las bifurcaciones desde la raíz hacia la punta lo que indica el orden en que los diferentes clados se separaron uno de otro - no la disposición de los taxones en las puntas de la filogenia. En la filogenia de abajo están señaladas las bifurcaciones más antigua y más reciente.



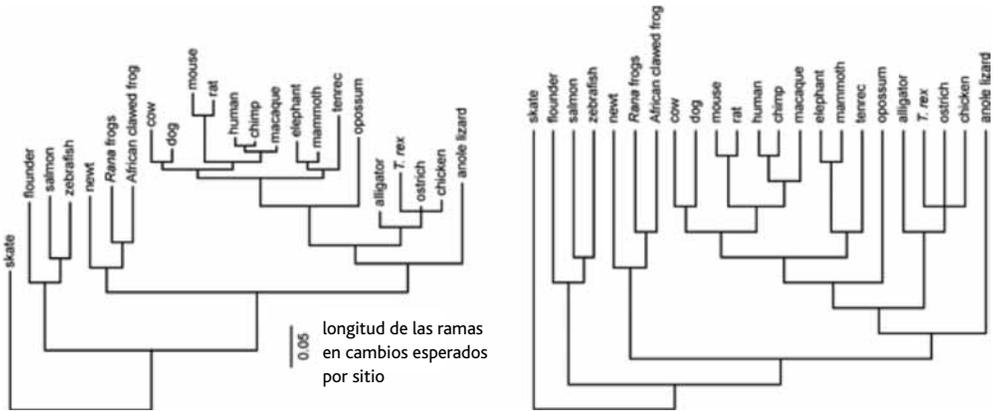
Tradicionalmente las filogenias se representan de modo que los taxones con ramas más largas aparecen en la base o en el lado izquierdo de la filogenia (como en el caso de la filogenia de arriba). Estos clados (o ramas) están ligados a la filogenia a través de la bifurcación más interna y *de hecho* divergieron primero que los demás en la filogenia. Sin embargo, es importante recordar que las mismas relaciones de ancestro-descendiente puede ser representadas por filogenias con diferente orden de los taxa en los bordes y que los taxa con ramas más largas no necesariamente son colocados a la izquierda o en la base de la filogenia (como se muestra abajo).



También es importante considerar que una cantidad sustancial de los cambios evolutivos puede haber ocurrido en un linaje después de que se separó de otros. Esto significa que las características que asociamos a los taxones que actualmente tienen ramas largas pueden haber evolucionado mucho después de que el par de linajes se originara. Para más información sobre este tema, consulta la siguiente entrada.

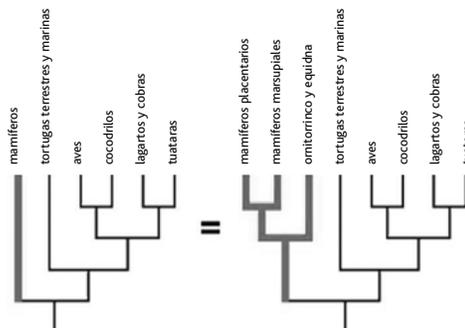
CONCEPTO ERRÓNEO: En una filogenia, una rama larga indica que el taxón ha cambiado poco desde que se separó de los otros

CORRECCIÓN: En muchas de las filogenias que aparecen en los libros de texto y la prensa popular la longitud de la rama no indica nada acerca de la cantidad de cambios evolutivos que se han producido a lo largo de esa rama. La longitud de las ramas por lo general no significa nada y es sólo una función del orden de ramificación en el árbol. ¡Sin embargo, los estudiantes más avanzados pueden estar interesados en saber que en algunas filogenias, donde la longitud de las ramas *tiene un significado*, una rama más larga por lo general indica un periodo de tiempo más largo desde que el taxón se separó de los otros en el árbol o que ocurrieron *más* cambios en un linaje! Este tipo de filogenias normalmente se reconocen por la presencia de una reglilla o porque los taxones representados no se alinean en una columna o fila. En la filogenia de abajo a la izquierda, cada longitud de una rama es el número de cambios de aminoácidos en una proteína que evolucionó a lo largo de esa rama. En las ramas más largas, la proteína del colágeno parece haber experimentado más cambios evolutivos que en las ramas más cortas. La filogenia a la derecha ilustra las mismas relaciones pero en esta filogenia la longitud de la rama no contiene información; nótese que no hay una reglilla y que los nombres de todos los taxones están alineados.



El concepto equivocado de que un taxón en una rama corta ha sufrido pocos cambios evolutivos probablemente surgió en parte por la manera en que se construyen las filogenias. Muchas filogenias se construyen con un grupo externo (*outgroup*, en inglés) - un taxón que no pertenece al grupo de interés (o interno). A veces, el grupo externo es elegido porque se piensa que tiene características en común con el ancestro del clado de interés. El grupo externo por lo general se coloca en la parte inferior o en el lado izquierdo de la filogenia y se presenta sin ninguno de sus parientes cercanos; lo que hace que la rama del grupo externo se vea larga. Esto significa que los grupos externos a menudo presentan ramas largas en filogenias pero hay que tener en cuenta que este es un artefacto y que no existe una relación directa entre las ramas largas y que haya pocos cambios evolutivos.

Puede ser útil recordar que las ramas largas a menudo pueden hacerse más cortas simplemente añadiendo más taxones a la filogenia. Por ejemplo, la filogenia de abajo a la izquierda se centra en la relación dentro de los reptiles y, por lo tanto, los mamíferos aparecen como una rama larga. Sin embargo, si incluyéramos más detalles acerca de las relaciones entre los mamíferos (como se muestra abajo, a la derecha), ningún taxón en la filogenia tiene una rama particularmente larga. Las dos filogenias son correctas; sólo que en la de la derecha se muestran más detalles acerca de las relaciones dentro de los mamíferos.



4. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE GENÉTICA DE POBLACIONES

CONCEPTO ERRÓNEO: Cada característica está determinada por un *locus* Mendeliano

CORRECCIÓN: Antes de aprender cómo se heredan los caracteres complejos o cuantitativos, los estudiantes por lo general aprenden cómo se heredan las características mendelianas simples, que están controladas por un solo *locus* - por ejemplo, si los chícharos son redondos o arrugados, las flores púrpuras o blancas, las vainas verdes o amarillas, etc. Lamentablemente, los estudiantes pueden asumir que *todos* los caracteres siguen este modelo simple, y no es así. Tanto los caracteres cuantitativos (por ejemplo, la altura) como los cualitativos (por ejemplo, el color de los ojos) pueden estar determinados por muchos *loci*; además, éstos pueden interactuar entre sí y pueden no seguir las reglas simples de dominancia mendeliana. En evolución, este malentendido puede ser problemático cuando los estudiantes están aprendiendo el equilibrio de Hardy-Weinberg y genética de poblaciones. Los estudiantes a menudo necesitan que se les recuerde que las características pueden ser determinadas por más de un *locus* y que éstos no siempre poseen dominancia simple.

CONCEPTO ERRÓNEO: Cada *locus* tiene sólo dos alelos

CORRECCIÓN: Antes de aprender cómo se heredan los caracteres complejos, los estudiantes por lo general aprenden cómo son los sistemas genéticos simples, en los que sólo dos alelos influyen en un fenotipo. Debido a que los estudiantes pueden no haber conectado la genética mendeliana con la estructura molecular del ADN, pueden no darse cuenta de que muchos alelos diferentes pueden estar presentes en un *locus* y, por lo tanto, pueden asumir que todas los fenotipos están determinados por dos alelos únicamente. Este error se refuerza porque los estudiantes se concentran generalmente en los sistemas genéticos diploides y por el uso de mayúsculas y minúsculas para representar a los alelos. Se puede aminorar este malentendido si se usan números como subíndices para etiquetar a los diferentes alelos de un *locus* (y recordarles con frecuencia que un *locus* puede tener más de dos alelos).

5. CONCEPTOS EQUIVOCADOS SOBRE LA TEORÍA DE LA EVOLUCIÓN Y LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución no es ciencia porque no puede ser observada o puesta a prueba experimentalmente

CORRECCIÓN: Este concepto erróneo tiene dos ideas incorrectas: i) que toda la ciencia depende de los experimentos controlados de laboratorio, y ii) que la evolución no puede ser estudiada utilizando experimentos. En primer lugar, muchas investigaciones científicas no implican experimentos u observaciones directas. Los astrónomos no pueden tener estrellas en sus manos y los geólogos no pueden regresar atrás en el tiempo; pero los científicos pueden aprender mucho sobre el universo a través de la observación o la comparación. Del mismo modo, los biólogos evolutivos pueden poner a prueba sus ideas sobre la historia de la vida en la Tierra haciendo observaciones en el mundo real. En segundo lugar, aunque no se puede realizar un experimento que nos diga cómo fue que el linaje de los dinosaurios se diversificó, sí podemos estudiar muchos aspectos de la evolución con experimentos controlados en el laboratorio. En los organismos con tiempos generacionales cortos (por ejemplo, bacterias o moscas de la fruta), incluso podemos observar la evolución durante un experimento. Y en algunos casos los biólogos han observado cómo ocurre la evolución en la naturaleza. Para aprender más sobre evolución visible en la naturaleza, consulta los enlaces que aparecen en el blog “*Um livro sobre evolução*” o en el sitio “*Understanding evolution*” sobre: i) el cambio climático, ii) el desarrollo de peces resistentes a la PBC iii) el perfil de un investigador sobre la evolución del tamaño de los peces como consecuencia de nuestras prácticas de pesca.

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución es “sólo una teoría”

CORRECCIÓN: Este error se debe a una confusión entre el uso común y el uso científico de la palabra *teoría*. En el lenguaje cotidiano “teoría” se utiliza a menudo como sinónimo de una suposición que tiene poca evidencia. Por su parte, “teoría” en un ámbito científico es una explicación exhaustiva de una gama amplia de fenómenos. Para ser aceptada por la comunidad científica, una teoría debe ser fuertemente apoyada por muchas líneas diferentes de evidencia. La evolución es una teoría científica bien sustentada y ampliamente aceptada; no es “sólo una suposición”.

CONCEPTO ERRÓNEO: La teoría de la evolución no es válida porque está incompleta y no puede dar una explicación absoluta para la biodiversidad que nos rodea

CORRECCIÓN: Este equívoco se debe a un mal entendimiento de cómo son las teorías científicas. *Todas* las teorías científicas (desde la teoría de la evolución hasta la teoría atómica) son obras en curso. A medida que se descubre nueva evidencia y se desarrollan nuevas ideas, nuestra comprensión de cómo funciona el mundo cambia y así también lo hacen las teorías científicas. Aunque no sabemos todo lo que hay que saber acerca de la evolución (o acerca cualquier otra disciplina científica), sabemos mucho sobre la historia de la vida, el orden de ramificación de los linajes en el tiempo y los mecanismos que causaron estos cambios. Y vamos a aprender más en el futuro. La teoría de la evolución, como cualquier otra teoría científica no explica absolutamente todo lo que observamos en el mundo natural. Sin embargo, la teoría de la evolución nos ayuda a comprender una amplia variedad de observaciones (desde la aparición de bacterias resistentes a los antibióticos hasta el acoplamiento físico entre los polinizadores y sus flores favoritas), hace predicciones precisas en nuevas situaciones (por ejemplo, que el tratamiento de pacientes con SIDA con una mezcla de medicamentos diferentes va a retrasar la evolución del virus) y ha demostrado ser correcta una y otra vez en miles de experimentos y estudios observacionales. Hasta ahora, la evolución es la única explicación bien sustentada que hay sobre la diversidad de la vida.

CONCEPTO ERRÓNEO: Los huecos en el registro fósil refutan a la evolución

CORRECCIÓN: Si bien es cierto que existen lagunas en el registro fósil, esto no constituye evidencia en contra de la teoría de la evolución. Los investigadores evalúan hipótesis y las teorías haciendo predicciones acerca de lo que esperamos ver si una idea en particular es verdadera, luego verifican si se confirman estas expectativas. Si la teoría de la evolución es cierta, entonces esperaríamos ver formas de transición que conectan especies antiguas con sus descendientes; pues esta expectativa se confirmó. Los paleontólogos *han encontrado* fósiles con diversas características de transición y continuamente se están descubriendo nuevos fósiles. Asimismo, si la teoría de la evolución es cierta, no esperamos que todas estas formas se conserven en el registro fósil, pues muchos organismos no tienen partes del cuerpo que puedan producir fósiles; además, las condiciones ambientales para la formación de fósiles buenos son raras y, por supuesto, sólo podemos descubrir un pequeño porcentaje de los fósiles que se conservan en la Tierra. Por lo tanto, los científicos sí esperaban que hubiera huecos en el registro fósil para muchas transiciones evolutivas.

6. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA ACEPTACIÓN DE LA EVOLUCIÓN

CONCEPTO ERRÓNEO: La teoría de la evolución tiene defectos, pero los científicos no lo admiten

CORRECCIÓN: Los científicos han estudiado las supuestas “fallas” que proponen grupos anti-evolución y no encontraron ningún tipo de apoyo a estas afirmaciones. Las “fallas” se basan en malentendidos acerca de la teoría de la evolución o a la tergiversación de las pruebas. Mientras los científicos reúnen nuevas pruebas y emergen nuevas perspectivas, la teoría de la evolución se sigue refinando; pero esto no significa que la teoría tenga fallas o defectos. La ciencia es un proceso competitivo y los científicos están deseosos de estudiar y corregir las “fallas” en la teoría de la evolución siempre que las haya.

Para aprender más sobre cómo cambia la teoría de la evolución, consulta los conceptos erróneos sobre este tema (“La teoría de la evolución no es válida porque está incompleta y no puede dar una explicación absoluta para explicar la biodiversidad que nos rodea”).

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución es una teoría en crisis y se está derrumbando al mismo tiempo que los científicos pierden su confianza en ella

CORRECCIÓN: La teoría de la evolución no está en crisis, los científicos aceptan la evolución como la mejor explicación para la diversidad de la vida debido a las múltiples líneas de evidencia que la apoyan, su vasto poder para explicar los fenómenos biológicos y su capacidad de hacer predicciones precisas en una amplia variedad de situaciones. Así, el debate de los científicos no es sobre si la evolución ocurrió o no; todos están de acuerdo en que es un hecho. Más bien discuten varios detalles sobre cómo ocurrió (y ocurre) en diferentes circunstancias. Los anti-evolucionistas pueden escuchar los debates sobre *cómo* ocurre la evolución e interpretarlos erróneamente como debates sobre *si* ocurrió o no la evolución. La evolución es una ciencia rigurosa y es tratada como tal por los científicos y académicos de todo el mundo.

CONCEPTO ERRÓNEO: La mayoría de los biólogos han rechazado el darwinismo y ya no están de acuerdo con las ideas desarrolladas por Darwin y Wallace

CORRECCIÓN: Es verdad que hemos aprendido mucho sobre evolución después de Darwin. Hoy entendemos la base genética de la herencia de los caracteres, podemos datar muchos eventos en el registro fósil con un

margen muy preciso y podemos estudiar cómo la evolución ha influenciado el desarrollo en el nivel molecular. Estos avances - que Darwin difícilmente podría haber imaginado - han ampliado la teoría de la evolución y la han hecho más poderosa. Sin embargo, estos avances no han invalidado los principios básicos formulados por Darwin y Wallace, sobre la evolución por selección natural y la ancestría común, simplemente les han añadido información. Es importante tener en cuenta que la elaboración, modificación y expansión de las teorías científicas es una parte normal del proceso de la ciencia. Para aprender más sobre cómo cambia la teoría de la evolución, consulta el concepto erróneo sobre este tema (“La teoría de la evolución no es válida porque está incompleta y no puede dar una explicación absoluta a la biodiversidad que nos rodea”).

7. IDEAS EQUIVOCADAS SOBRE LAS IMPLICACIONES DE LA EVOLUCIÓN

CONCEPTO ERRÓNEO: La teoría de la evolución conduce a un comportamiento inmoral

CORRECCIÓN: La teoría de la evolución no hace consideraciones éticas sobre el bien y el mal. Algunas personas interpretan mal el hecho de que los cambios que han moldeado la conducta de los animales (incluyendo nuestro comportamiento) apoya la idea de que cualquier comportamiento “natural” es un comportamiento “correcto”. No es así. Nos corresponde a nosotros como sociedad e individuos decidir qué es una conducta ética y moral. La evolución simplemente nos ayuda a entender cómo ha cambiado la vida y cómo sigue cambiando a en el tiempo - pero no nos indica de ninguna manera si este proceso o sus resultados están “bien” o “mal”. Además, muchas personas creen erróneamente que la evolución y la fe religiosa son incompatibles y, por tanto, asumen que la aceptación de la teoría de la evolución fomenta un comportamiento inmoral. Ninguna de las dos aseveraciones es correcta. Para aprender más sobre este tema, lea el concepto erróneo “La teoría de la evolución y la religión son incompatibles”.

CONCEPTO ERRÓNEO: La evolución es compatible con la idea de que “el poder tiene la razón” (la expresión en Inglés es “*might makes right*”) y justifica la opresión que algunas personas ejercen sobre los demás

CORRECCIÓN: En el siglo XIX y principios del XX, apareció una filosofía llamada darwinismo social. Esta filosofía surgió a partir un intento equivocado de aplicar los principios de la evolución biológica a la sociedad. El darwinismo social sugiere que la sociedad debe dejar que los más débiles y menos eficaces fracasen y mueran, y que esta política es buena y moralmente aceptable. Supuestamente, el mecanismo de la evolución por selección natural sirvió de apoyo a estas ideas. Los prejuicios que ya existían en ese tiempo fueron justificados por la noción de que las naciones colonizadas, los pobres y las minorías desfavorecidas merecían su situación porque eran “menos eficaces” que los colonizadores o los ricos. En este caso, la ciencia fue mal aplicada para promover una agenda social y política. Sin embargo, mientras que el darwinismo social como una orientación política y social ha sido ampliamente rechazado, la idea científica de la evolución biológica ha persistido a lo largo del tiempo.

CONCEPTO ERRÓNEO: Si se enseña a los estudiantes que son animales, se comportarán como animales

CORRECCIÓN: Una parte de la teoría de la evolución incluye el concepto de que todos los organismos de la Tierra están relacionados. El linaje de los humanos es una pequeña rama en el árbol de la vida junto con todos los animales. Esto significa que, en el sentido biológico, los seres humanos *somos* animales. Compartimos características anatómicas, bioquímicas y de comportamiento con otros animales. Por ejemplo, los humanos cuidamos a nuestras crías, formamos grupos cooperativos y nos comunicamos con los demás como lo hacen muchos otros animales. Y, por supuesto, cada linaje animal tiene características de comportamiento que son únicas. En consecuencia, los seres humanos actuamos como seres humanos, las babosas actúan como babosas y las ardillas como ardillas. Es poco probable que los niños, después de saber que están relacionados con el resto de los animales empiecen a comportarse como una medusa o un tejón.

8. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE EVOLUCIÓN Y RELIGIÓN

CONCEPTO ERRÓNEO: La teoría de la evolución y la religión son incompatibles

CORRECCIÓN: Debido a que algunos individuos y grupos promueven persuasivamente sus creencias, es fácil tener la impresión de que la ciencia (que incluye a la teoría de la evolución) y la religión están en guerra. Sin embargo, la idea de que tenemos que escoger entre la ciencia y la religión no es correcta. Las personas con diferentes religiones y niveles de conocimientos científicos no ven ninguna contradicción entre ciencia y religión. Para muchas de estas personas la ciencia y la religión simplemente se ocupan de diferentes ámbitos. La ciencia se ocupa de las causas naturales de los fenómenos naturales y la religión trata con las creencias que están más allá del mundo natural. Por supuesto, algunas creencias religiosas contradicen explícitamente la ciencia (por ejemplo, la creencia de que el mundo y todas las formas de vida fueron creadas literalmente en seis días entra en conflicto con la teoría de la evolución). Sin embargo, la mayoría de los grupos religiosos no tienen conflicto con la teoría de la evolución o con otros hallazgos científicos. En realidad, muchas personas religiosas, incluyendo teólogos, sienten que un mayor conocimiento de la naturaleza enriquece su fe. Por otra parte, en la comunidad científica hay miles de científicos que son devotamente religiosos y también aceptan la evolución.

9. CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN

CONCEPTO ERRÓNEO: Los profesores deben enseñar “ambos lados” (evolucionismo y creacionismo) dedicando el mismo tiempo y dejar que los estudiantes “decidan” con cuál explicación se quedan

CORRECCIÓN: Cuando los “dos lados” a los que se hace referencia no son iguales, no tiene sentido dedicar el mismo tiempo. La religión y la ciencia son actividades muy diferentes y los puntos de vista religiosos no deben estar en una clase de ciencias. En la clase de ciencias, los estudiantes tienen la oportunidad de discutir los méritos de los argumentos y evidencias en

el ámbito de la ciencia. Por ejemplo, los estudiantes pueden investigar y discutir exactamente cuándo fue que la rama de las aves apareció en el árbol de la vida: si antes de los dinosaurios o desde el clado de los dinosaurios. Por el contrario, un debate que pone un concepto científico contra una creencia religiosa no tiene lugar en un aula de ciencias y erróneamente sugiere que hay que “escoger” entre los dos. El argumento de “igualdad” ha sido utilizado por los grupos que tratan de inculcar sus creencias religiosas en los programas científicos.

Para obtener más información acerca de la noción de que la evolución y la religión no tienen por qué ser incompatibles, revisa el concepto erróneo “La teoría de la evolución y la religión son incompatibles”.

CONCEPTO ERRÓNEO: La teoría de la evolución es en sí religiosa y, por lo tanto, pedir a los profesores que enseñen evolución es dar prioridad a una religión sobre las otras, violando la libertad de expresión (en el original: viola la primera enmienda)

CORRECCIÓN: Este argumento falaz se basa en la noción de que la evolución y la religión son esencialmente la misma cosa, ya que ambos son “sistemas de creencias”. Esta noción es absolutamente incorrecta. Las creencias de las ideas religiosas están basadas en la fe y la religión se ocupa de temas que están más allá del ámbito del mundo natural. Por su parte, la aceptación de las ideas científicas (como la evolución) se basa en evidencia que proviene de la naturaleza. Asimismo, la ciencia se limita al estudio de los fenómenos y procesos del mundo natural. La ciencia y la religión son claramente diferentes y la promoción de las doctrinas religiosas no está permitida en las clases de ciencias.

En los Estados Unidos, varias decisiones de los tribunales decidieron favorablemente sobre la enseñanza de la evolución; para obtener información adicional con respecto a las sentencias más importantes relacionados con la enseñanza de la evolución, visita el enlace que se encuentra en el blog “*Um livro sobre evolução*” o ve al sitio “*Understanding evolution*”.

10. OTROS CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE EVOLUCIÓN

CONCEPTO ERRÓNEO: Los seres vivos se adaptan a las condiciones ambientales

CORRECCIÓN: Como se explicó anteriormente, en el concepto erróneo “La selección natural implica que los organismos tratan de adaptarse”, no son los seres vivos quienes deliberadamente se adaptan a las condiciones ambientales; es su variación genética la que les permite adaptarse a las condiciones ambientales. Por lo tanto, si un individuo tiene ciertas variantes genéticas, o alelos, que le dan una mayor capacidad para sobrevivir y reproducirse en cierto ambiente, entonces ese individuo será más eficiente en ese ambiente.

CONCEPTO ERRÓNEO: Los órganos vestigiales de algunas especies son órganos atrofiados

CORRECCIÓN: Se entiende por órgano (o estructura) vestigial aquél que ha perdido su función original. Estos órganos representan vestigios de una historia evolutiva común entre dos organismos y, por lo tanto, se consideran como evidencia de la evolución. Aunque muchos órganos vestigiales son en realidad órganos atrofiados y sin función aparente, como el apéndice humano o las alas del kakapo (un loro neozelandés que no vuela); hay muchos ejemplos de órganos atrofiados que mantuvieron su forma y utilidad, como las alas de los avestruces. En este último caso, las alas perdieron su función original, el vuelo, pero son importantes para el equilibrio, la defensa y la reproducción de estas aves.

CONCEPTO ERRÓNEO: Desde un mismo ancestro, la divergencia entre los individuos que colonizan diferentes hábitats se debe a las diferencias pre-existentes entre los individuos

CORRECCIÓN: La unidad más pequeña de la evolución es la población, no el individuo. Como se explicó anteriormente, en el concepto erróneo “Los organismos pueden evolucionar en el transcurso de su vida”, la evolución resulta de las diferencias del acervo genético entre poblaciones y éste se forma por la ocurrencia de mutaciones al azar. Si varios individuos de una población colonizan diferentes hábitats, formando dos nuevas poblaciones, podemos esperar que, con el tiempo, las frecuencias de los alelos de ambas cambien de manera independiente. Esta diferencia puede deberse a fluctuaciones en las frecuencias o la pérdida de variantes genéticas que existían en la población ancestral y la probable aparición de mutaciones exclusivas en cada una de las nuevas poblaciones, haciendo que una nueva variante se produzca en una población, pero no en la otra. Los cambios en

las frecuencias de las variantes genéticas compartidas, la pérdida aleatoria de algunas otras y la acumulación de nuevas variantes conducen a la divergencia entre las nuevas poblaciones.

En resumen, se espera que haya divergencia entre poblaciones de diferentes hábitats a lo largo de las generaciones por una acumulación de diferencias entre las poblaciones y no por las diferencias entre los individuos de la población ancestral (diversidad intraespecífica).

CONCEPTO ERRÓNEO: Cualquier interferencia de los humanos sobre otros seres vivos da como resultado selección artificial

CORRECCIÓN: La selección artificial ocurre cuando el ser humano dirige las cruces entre los individuos con el fin de aumentar la frecuencia de una característica de su interés, lo que lleva a la evolución de organismos domesticados. Para que esto suceda es necesario que la característica sea hereditaria; es decir, determinada genéticamente, y que las cruces sucesivas se hagan preferentemente entre los individuos con la misma característica. Por ejemplo, si en una camada de conejos nacen crías con pelo más largo y suave, éstos serían seleccionados para cruzarse entre sí y, por lo tanto, aumentar la frecuencia de conejos con este tipo de pelo. La selección artificial es generalmente más fuerte en las primeras etapas de la domesticación. A lo largo de la historia humana, muchos organismos han sido seleccionados artificialmente para la alimentación, defensa, transporte, ropa o compañía.

La selección artificial es por lo tanto una forma en la que el ser humano actúa como un agente selectivo. Sin embargo, siempre implica una interferencia directa y deliberada en la reproducción de los individuos con la característica bajo selección. Otras intervenciones de los humanos sobre los organismos pueden llevar a cambios en las características sin que sea considerado un caso de selección artificial. Por ejemplo, la ausencia de colmillos en las últimas generaciones de elefantes asiáticos se puede explicar por la presión selectiva ejercida por los cazadores de marfil. En este caso, al no estar en la mira de los cazadores, los machos sin colmillos o con colmillos de menor tamaño tienen más posibilidades de reproducirse, lo que hace que aumenten en frecuencia los machos sin colmillos en estas poblaciones.

PARTE III CONCEPTOS ERRÓNEOS SOBRE LA EVOLUCIÓN

Glosario

Traducido de *Understanding Evolution*, con permiso.
("Misconceptions about Evolution." *Understanding Evolution*.
University of California Museum of Paleontology. 22
August 2008 <[http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/
misconceptions_faq.php](http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions_faq.php)>.)

Azar (o aleatoriedad): que no puede predecirse, en cierto sentido. Las mutaciones son “al azar” (o “aleatorias”); es decir que la ocurrencia de ciertas mutaciones no puede predecirse con base en las necesidades del organismo. Sin embargo, esto no implica que todas las mutaciones tengan la misma probabilidad de ocurrir o que ocurren sin causa física aparente. De hecho, algunas regiones del genoma son más propensas a mutar que otras y varios factores físicos (por ejemplo, la radiación) causan mutaciones.

Adaptación: una característica que evolucionó por selección natural para llevar a cabo su función actual.

Alelo: una versión de un gen que puede existir en un *locus*. Por ejemplo, el *locus* de color del chícharo puede tener el alelo amarillo o el alelo verde. Diferentes alelos en el mismo *locus* son típicamente representados por letras mayúsculas y minúsculas (por ejemplo, los alelos A y a).

Aminoácido: los bloques de construcción de las proteínas. Hay alrededor de 20 aminoácidos, y el ADN que codifica para proteínas utiliza la maquinaria celular para indicar qué aminoácidos se deben utilizar para hacer una proteína particular.

Ancestro común: es el ancestro que comparten dos o más especies descendientes. En otras palabras, un antepasado que tienen en común. Por ejemplo, los antepasados comunes de un par de hermanos biológicos incluyen a los padres y los abuelos; los ancestros comunes del coyote y el lobo son el primer cánido y el primer mamífero.

ADN (o DNA): ácido desoxirribonucleico, la molécula que lleva la información genética de generación en generación.

Base nucleotídica (nucleótidos): información del código del ADN, las letras

del código genético. La secuencia de bases de una región de ADN (es decir, la secuencia de A, T, G y C) determina si el ADN codifica para una proteína, activa un gene, o cualquier otra función. En las regiones que codifican proteínas, cada tres pares de bases codifican un único aminoácido. Por ejemplo, la secuencia de pares de bases ATG codifica el aminoácido metionina. En una cadena de ADN, las bases se alinean una frente a la otra: A se une con T y G se une con C. [A=adenina; T=timina; G=guanina; C=citosina]

Clado: un grupo de especies o taxones que incluye a todos los descendientes de un ancestro común y a su ancestro. Por ejemplo, las aves, los dinosaurios, los cocodrilos y sus parientes extintos forman un clado.

Deriva genética: cambios aleatorios en las frecuencias alélicas en una población de generación en generación. Ocurre como resultado de un error de muestreo; es decir, algunos genotipos están más representados que otros, lo cual no se debe a que sean “mejores”, sino por pura suerte. Este proceso hace que la frecuencia de los genes de una población fluctúe en el tiempo. Algunos alelos pueden incluso perderse de la población (es decir, sólo por casualidad, algunos alelos pueden llegar a una frecuencia de cero). Generalmente, la deriva genética causa la disminución de la variación genética en una población.

Desarrollo: los cambios que ocurren en un organismo durante su vida; el proceso mediante el cual el cigoto se convierte en un individuo adulto y, finalmente, muere.

Diploide: individuo o célula que lleva dos juegos de cromosomas. Los seres humanos somos diploides: llevamos dos copias de cada uno de nuestros 22 cromosomas y dos

cromosomas sexuales (dos X o un X y un Y).

Dominancia/alelo dominante: una versión alélica del gene que se observa incluso cuando se combina con una versión diferente en el mismo *locus* y en el mismo individuo.

Extinción: un evento en el que el último miembro de un linaje o especie muere. Una especie puede extinguirse cuando todos los miembros de esa especie mueren y en el caso de un linaje, ocurre cuando todas las especies que lo componen se han extinguido.

Fenotipo: las características físicas de un organismo. Fenotipo puede referirse a cualquier aspecto de la morfología, la fisiología o el comportamiento de un individuo. El fenotipo de un organismo está influenciado por su genotipo y el ambiente.

Filogenia: la relación evolutiva entre los organismos; el orden de ramificación de un linaje que se produce por la historia evolutiva de los organismos en cuestión. Muchas de las filogenias que encontramos son “árboles genealógicos” de grupos de especie cercanas, pero también puede utilizar una filogenia para representar la relación entre todas las formas de vida.

Gene: la unidad de la herencia. Típicamente se refiere a una región del ADN con un efecto fenotípico particular. Técnicamente puede significar un fragmento de ADN que comprende una región transcrita y una región reguladora.

Grupo externo (*outgroup*, en inglés): un linaje que en un análisis filogenético se encuentra fuera del clado que se está estudiando. Todos los miembros del clado en estudio estarán más cerca entre sí que con el grupo externo y por eso la rama que lleva al grupo externo se separa en la base de la filogenia.

Linaje: una línea continua de descendencia; una serie de organismos, poblaciones, células o genes ligados por relaciones de ancestro/descendencia.

Locus (singular): *Loci* (plural) un sitio específico en el ADN. Por ejemplo, el *locus* de color de los chícharos se refiere a un lugar del ADN donde se determina de qué color será el chícharo. El *locus* del color de chícharo puede contener ADN que produce chícharos amarillos o ADN que produce chícharos verdes - es decir alelos para color amarillo o verde.

Migración: el movimiento de individuos entre las poblaciones.

Mutación: un cambio en la secuencia de ADN que generalmente ocurre debido a errores en la replicación o la reparación. Las mutaciones son la principal fuente de variación genética. Los cambios en la composición de un genoma que se deben a la recombinación no se consideran mutaciones debido a que la recombinación sólo cambia la localización de los genes en el mismo genoma, pero no cambia la secuencia de estos genes.

Nodo: un punto en una filogenia en el que un linaje ancestral se divide en dos o más linajes descendientes.

Población: comúnmente se define como un grupo de individuos que viven cerca unos de otros, se cruzan entre sí y no se reproducen con otros miembros de grupos similares; un acervo genético. Dependiendo de los organismos, las poblaciones pueden ocupar regiones geográficas grandes o pequeñas.

Proteína: una molécula que comprende una secuencia de aminoácidos. Las proteínas son codificadas por el ADN y son moléculas esenciales para la vida.

Selección natural: la supervivencia o reproducción diferencial de los diferentes

genotipos en una población que conducen a cambios en las frecuencias genéticas de la población. Las condiciones para que ocurra la evolución por selección natural incluyen la variación, la herencia, la reproducción diferencial y el tiempo.

Taxón (singular): Taxa o taxones (plural) cualquier grupo de organismos con una designación (por ejemplo, reptiles, Felidae, escarabajos, *Homo sapiens*), forme o no un clado.

Teoría: una explicación general para una serie amplia de fenómenos. Las teorías son concisas, coherentes, sistemáticas, predictivas y de aplicación general.

A menudo integran muchas hipótesis individuales. Una teoría científica debe ser probada con evidencia del mundo natural. Si una teoría no puede ser probada con resultados experimentales, observacionales u otros medios; entonces no es una teoría científica.

Variación genética: en una definición laxa se refiere a la medida de las diferencias genéticas que existen en una población o especie. Por ejemplo, si una población tiene muchos alelos diferentes en un *locus* puede decirse que esta población tiene mucha variación genética en este *locus*. La variación genética es esencial para que la selección natural pueda actuar, ya que la selección natural sólo puede aumentar o disminuir la frecuencia de alelos que ya existen en la población.

PARTE IV

REFERENCIAS Y

SUGERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

Lista de bibliografía consultada o sugerida por capítulo y autor.

Capítulo 1: Definición de la evolución

Paola Balzaretto Cabrera:

http://es.wikipedia.org/wiki/Evolución_biológica

<http://html.rincondelvago.com/evolucion-biologica.html>

Regina Pereda Sparrowe:

http://es.wikipedia.org/wiki/Evolución_biológica

<http://www.todo-ciencia.com/biologia/0i23399200d992019505.php>

Capítulo 3: La aceptación de la evolución

Mariana Costa:

Carrajola C, Martin L, Hilário T. (2012). Projeto Desafios, Santillana.

Oliveira O, Ribeiro E, Silva J. (2012). Ciência & Vida 7, Edições ASA.

Oliveira A, Cantanhede F, Catarino I, Gago M, Torrão P. (2012). Texto Editores, Leya.

Leonardo de Oliveira Martins:

<http://agencia.fapesp.br/11682>

<http://dx.doi.org/10.1002/bies.200900082>

<http://link.springer.com/article/10.1007/s12052-010-0272-7/>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12052-008-0109-9>

<http://www.skeptic.com/eskeptic/07-12-19/>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12052-012-0423-0>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12052-010-0210-8>

<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10699-010-9178-7>

<http://www.nature.com/nature/journal/v434/n7037/full/4341062a.html>

<http://www.economist.com/node/9036706>

<http://www.theclergyletterproject.org/>

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982209017436>

<http://www.talkorigins.org/faqs/comdesc/>

Capítulo 4: Origen de la variabilidad genética

Raquel Dias Andrade:

Barracha M (2007). Síntesis Esquemáticas - Biología e Geología 11º ano. Texto Editores.

Silva AD, Santos ME, Gramaxo F, Mesquita AF, Baldaia L, Félix JM (2012).

Terra, Universo de Vida - Biología e Geología - 11.º Ano. Porto Editora.

Mara Filipa Oliveira Gorito:

Matias O, Martins P. (2012). *Biologia 11. Biologia. 1ªParte*. Porto: Areal.

Silva AD, Santos ME, Gramaxo F, Mesquita AF, Baldaia L, Félix JM (2012).

Terra, Universo de Vida - Biologia e Geologia - 11.º Ano. Porto Editora.

<http://dreyfus.ib.usp.br/bio203/texto13.pdf> [Mutaciones genéticas y cromosómicas; Consultado en febrero 2013].

<http://varios.jromao.com/mutacoes/mutacoes/mutacoes-cromossomicas> [Mutaciones cromosómicas; Consultado en febrero 2013].

<http://www.slideshare.net/aivilsilveira/aula-1-1-1-mutao-presentation> [Mutaciones; Consultado en febrero 2013].

<http://www.darwin.bio.br/?p=44> [Mutaciones y selección natural; Consultado en febrero 2013].

Capítulo 5: Una carta hipotética de Mendel a Darwin

Marlene Veiga:

Charles Darwin. In *Infopédia*. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado en abril 2013].

Gregor Johann Mendel. In *Infopédia*, Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado en abril 2013].

Hereditariedade. In *Infopédia*. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado en abril 2013].

<http://w3.ufsm.br/geneticavegetal/Texto5.pdf>

Capítulo 6: La evolución por selección natural

Joana Dias:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Raposa-do-Artico>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Feneco>

Daniel Salvador Cabeza de Vaca Gómez:

<http://www.revistadini.com/noticia/729/los-herederos-de-darwin.html>

Alicia Mastretta Yanes:

Futuyma DJ. (2009). *Evolución*. Segunda edición. Editorial Sinauer.

Capítulo 7: La evolución por selección sexual

Belen Palmira Ibarra Aguilar:

http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/publicaciones/publi_reinos/fauna/pavoreal/pavo_real.htm

Gonçalo Mendes Rodrigues:

Lindell J. Why Do Male Deer Have Antlers? http://www.ehow.com/facts_5124898_do-male-deer-antlers.html [Consultado en abril 2013].

Página do Monteiro. O veado (*Cervus elaphus*). http://www.apaginadomonteiro.net/o_veado1.htm [Consultado en abril 2013].

Capítulo 8: La evolución por selección artificial

Carlos Abegão:

http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A3o#A_rela.C3.A7.C3.A3o_entre_o_c.C3.A3o_e_o_lobo

<http://www.tribunadabahia.com.br/2013/01/19/pesquisa-explica-por-que-caes-lobos-tem-comportamentos-tao-diferentes>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Lobo>

<http://www.comportamentocanino.com/site/artigos.php?id=3>

José Melo Ferreira:

Anderson TM, vonHoldt BM, Candille SI, et al. (2009). Molecular and evolutionary history of melanism in North American gray wolves. *Science* 323:1339-1343.

Axelsson E, Ratnakumar A, Arendt ML, et al. (2013.) The genomic signature of dog domestication reveals adaptation to a starch-rich diet. *Nature* 495:360-364.

Larson G, Burger J. (2013). A population genetics view of animal domestication. *Trends in Genetics* 29(4):197-205.

Larson G, Karlsson EK, Perri A, et al. (2012). Rethinking dog domestication by integrating genetics, archeology, and biogeography. *PNAS* 109:8878-8883.

Lindblad-Toh K, Wade CM, Mikkelsen TS, et al. (2005). Genome sequence, comparative analysis and haplotype structure of the domestic dog. *Nature* 438:803-819.

Capítulo 9: La evolución convergente

Susana Cunha:

http://education.nationalgeographic.com/education/activity/examining-convergent-evolution/?ar_a=1

<http://animals.nationalgeographic.com/animals/mammals/giant-anteater/>

<http://animals.nationalgeographic.com/animals/mammals/aardvark/?source=A-to-Z>

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

<http://en.wikipedia.org/wiki/Aardvark>

Capítulo 10: Coevolución

David Omar Arellano Contla:

<http://www.ugr.es/~jmgreyes/coevolucion.html>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Coevolución>

<http://interaccionevolutiveelasespecie.weebly.com/que-es-lacoevolucioacuten.html>

Sara Rocha:

<http://oyc.yale.edu/ecology-and-evolutionary-biology/eeb-122/lecture-20>

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-7998.2008.00489.x>

[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01359-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01359-7)

<http://dx.doi.org/10.1038/ng1263>

<http://diariodobeagle.blogspot.com.es/2011/07/corrida-da-rainha-de-copas-e-evolucao.html>

<http://insects.about.com/od/butterfliesmoths/ss/Why-Dont-Monarchs-Get-Sick-From-Eating-Milkweed.htm>

<http://www.youtube.com/watch?v=gEcv3dBuOe4&list=PL5D63A12EA95D78EB>

<http://www.youtube.com/watch?v=-h8I3cqpgnA>

Capítulo 11: Evolución del vuelo

João Pedro Alves:

Coyne J. (2012). A Evidência da Evolução. Edições Tinta da China, Lda.

<http://genesisum.blogspot.pt/2012/04/mentira-por-tras-do-criacionismo-13.html>

Rita Fonseca:

Manual de Biología e Geología de 11º ano. (2011). Terra, Universo de Vida. Porto Editora, 1ª edição

http://www.brasil247.com/pt/247/revista_oasis/63890/ [Consultado en enero de 2013]

http://pt.wikipedia.org/wiki/Origem_das_aves [Consultado en enero 2013]

Gonçalo Espregueira Themudo:

Agarsson I. et al. (2011). A time-calibrated species-level phylogeny of bats (Chiroptera, Mammalia). PLoS Currents 3:RRN1212. Disponible en <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3038382&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Bennett SC. (1997). The arboreal leaping theory of the origin of pterosaur flight. Historical Biology 12(3-4):265-290. Disponible en <http://www>.

tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08912969709386566.

Brodsky A. (1991). Vortex formation in the tethered flight of the peacock butterfly *Inachis io* L. (Lepidoptera, Nymphalidae) and some aspects of insect flight evolution. *Journal of Experimental Biology*. 161:77-95.

Disponible en <http://jeb.biologists.org/content/161/1/77.short>.

Claessens LPAM, O'Connor PM, Unwin DM. (2009). Respiratory evolution facilitated the origin of pterosaur flight and aerial gigantism. *PloS one* 4(2):e4497. Disponible en <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=2637988&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>.

Dial KP. (2003). Wing-assisted incline running and the evolution of flight. *Science* 299(5605): 402-404. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12532020>.

Dyke GJ, Nudds RL, Rayner JM V. (2006). Flight of *Sharovipteryx mirabilis*: the world's first delta-winged glider. *Journal of Evolutionary Biology* 19(4):1040-103. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16780505>.

Eick GN, Jacobs DS, Matthee CA (2005). A nuclear DNA phylogenetic perspective on the evolution of echolocation and historical biogeography of extant bats (chiroptera). *MBE* 22(9):1869-1886. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15930153>.

Elgin RA, Hone DWE, Frey E. (2011). The extent of the Pterosaur flight membrane. *Acta Palaeontologica Polonica* 56(1):99-111. Disponible en <http://www.app.pan.pl/article/item/app20090145.html>.

Gatesy S, Dial K. (1996). Locomotor modules and the evolution of avian flight. *Evolution* 50(1):331-340. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2410804>.

Grimaldi D, Engel MS. (2005). *Evolution of the insects*. New York, NY: Cambridge University Press.

Kingslover J, Koehl M. (1985). Aerodynamics, thermoregulation, and the evolution of insect wings: differential scaling and evolutionary change. *Evolution* 39(3):488-504. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2408648>.

Marden JH, Kramer MG. (1994). Surface-skimming stoneflies: a possible intermediate stage in insect flight evolution. *Science* 266(5184):427-430. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17816688>.

Padian K. (1983). A functional analysis of flying and walking in pterosaurs. *Paleobiology* 9(3):218-239. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2400656>.

Qiang J et al. (1998). Two feathered dinosaurs from northeastern China. *Nature* 393:753-761. Disponible en <http://www.nature.com/nature/journal/v393/n6687/abs/393753a0.html>.

Sanz J, Chiappe L. (1996). An Early Cretaceous bird from Spain and

its implications for the evolution of avian flight. *Nature* 382:442-445. Disponible en http://www.researchgate.net/publication/31993989_An_Early_Cretaceous_bird_from_Spain_and_its_implications_for_the_evolution_of_avian_flight/file/79e4150589d15a796c.pdf.

Simmons NB et al. (2008). Primitive Early Eocene bat from Wyoming and the evolution of flight and echolocation. *Nature* 451(7180):818-821. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18270539>.

Speakman JR. (2001). The evolution of flight and echolocation in bats: another leap in the dark. *Mammal Review* 31(2):111-130. Disponible en <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2907.2001.00082.x>.

Unwin D, Bakhurina N. (1994). *Sordes pilosus* and the nature of the pterosaur flight apparatus. *Nature* 371:62-64. Disponible en <http://www.nature.com/nature/journal/v371/n6492/abs/371062a0.html>.

Witton M. (2008). A new approach to determining pterosaur body mass and its implications for pterosaur flight. *Zitteliana* B28:143-158. Disponible en http://www.markwitton.com/download/i/mark_dl/u/4009119796/4549073105/Witton_2008_-_Pterosaur_mass_estimation_and_flight.pdf.

Witton MP, Habib MB. (2010). On the size and flight diversity of giant pterosaurs, the use of birds as pterosaur analogues and comments on pterosaur flightlessness V. Laudet, ed. *PLoS One* 5(11):e13982. Disponible en <http://www.newscientist.com/article/dn19724-did-giant-pterosaurs-vault-aloft-like-vampire-bats.html#.Ugixt382yW8>.

Xu X et al. (2012). A gigantic feathered dinosaur from the lower cretaceous of China. *Nature* 484(7392):92-95. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22481363>.

Capítulo 13: Evolución de los cocodrilos

Valeria Incapie Zendejas:

<http://www.duiops.net/dinos/cocodrilos.html>

<http://www.cocodrilopedia.com/evolucion-cocodrilo/>

Sara Rocha:

<http://www.ucmp.berkeley.edu/diapsids/archosauria.html>

<http://www.ucmp.berkeley.edu/taxa/verts/archosaurs/crocodylomorpha.php>

<http://palaeo.gly.bris.ac.uk/Palaeofiles/Fossilgroups/Crocodylomorpha/Groups.html>

<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0030471>

<http://jrscience.wcp.muohio.edu/studentresearch/costarica02/crocodiles/articles/crocodilians2.htm>

Capítulo 14: Evolución de las anguilas eléctricas

Eduarda Sá Marta:

<http://hypertextbook.com/facts/BarryLajnwand.shtml>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioelectrogenesis>

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

Capítulo 15: Evolución de los insectos

Luis David Trevino Olvera:

<http://www.nosabesnada.com/noticias-naturaleza/39923/el-tamano-de-losinsectos-disminuye-a-medida-que-evolucionan>

<http://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/iyor-que-desaparecieron-losinsectos-gigantes>

Ângela Ribeiro:

Clapham ME, Karr JA. (2012). Environmental and biotic controls on the evolutionary history of insect body size. PNAS 109:10927-10930.

Grimaldi D, Engel MS. (2005). Evolution of the insects. New York, NY: Cambridge University Press.

Haldane JBS. 1926 On being the right size. Harper's Mon Mag 152:424-427.

Harrison JF, Kaiser A, VandenBrooks JM. (2010). Atmospheric oxygen level and the evolution of insect body size. Proc Biol Sci 277:1937-1946.

Jetz W, Thomas GH, Joy JB, Hartmann K, Moores AØ. (2012). The global diversity of birds in space and time. Nature 491:444-448.

Verberk WCEP, Bilton DT, Calosi P, Spicer JJ. (2011). Oxygen supply in aquatic ectotherms: Partial pressure and solubility together explain biodiversity and size patterns. Ecology 92:1565-1572.

Capítulo 16: Evolución del caballo

Carolina Borja Valarde:

<http://caballos.anipedia.net/-historia-evolucion.html>

Rita Campos:

Secord R et al. (2012). Evolution of the earliest horses driven by climate change in the Paleocene-Eocene thermal maximum. Science 335(6071):959-962.

Orlando L et al. (2013). Recalibrating *Equus* evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse. Nature 499:74-78.

Orlando L et al. (2009). Revising the recent evolutionary history of equids using ancient DNA. PNAS 106(51): 21754-21759.

<http://netnebraska.org/basic-page/television/wild-horses-evolution-timeline>
[Consultado en octubre 2013]

Capítulo 17: Evolución de las ballenas

Mariana Valente e Torres:

Coyne J. (2012). A Evidência da Evolução. Edições Tinta da China, Lda.
<http://faqbio.blogspot.pt/2011/10/evolucao-da-baleias-partir-de-mamiferos.html>

Emiliano Rodríguez Mega:

Medrano GL. (2013). La evolución de los cetáceos: moléculas anatomías y mares. Cuadrivio. Disponible en <http://cuadrivio.net/2013/08/la-evolucion-de-los-cetaceos-moleculas-anatomias-y-mares/>

Capítulo 18: Fósiles "vivos"

Gabriela Moreira dos Santos:

<http://portalevolution.org/mundo-animal/limulo-o-caranguejo-ferradura>
<http://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADmulo>
<http://www.str.com.br/Scientia/duvidas.htm>
<http://www.mundodosanimais.pt/fotos/sea-life/>

Rita Campos:

Briggs DEG, Siveter DJ, Siveter DJ, Sutton MD, Garwood RJ, Legg D. (2012). Silurian horseshoe crab illuminates the evolution of arthropod limbs. PNAS 109(39):15702-15705.

Casane D, Laurenti P. (2013). Why coelacanth are not "living fossils": a review of molecular and morphological data. BioEssays 35(4):332-338.

King TM, Eackles MS. (2004). Microsatellite DNA markers for the study of horseshoe crab (*Limulus polyphemus*) population structure. Mol Ecol Notes 4(3):394-396.

Mathers TC, Hammond RL, Jenner RA, Hänfling B, Gómez A. (2013). Multiple global radiations in tadpole shrimps challenge the concept of 'living fossils'. PeerJ 1:e62.

Meloro C, Jones ME. (2012). Tooth and cranial disparity in the fossil relatives of *Sphenodon* (Rhynchocephalia) dispute the persistent 'living fossil' label. J Evol Biol 25(11):2194-2209.

Obst M, Faurby S, Bussarawit S, Funch P. (2012). Molecular phylogeny of extant horseshoe crabs (*Xiphosura*, Limulidae) indicates Paleogene diversification of Asian species. Mol Phylogenet Evol 62(1):21-26.

Riska B. (1981). Morphological variation in the horseshoe crab *Limulus*

polyphemus. Evolution 35(4):647-658.

Saunders NC, Kessler LG, Avise JC. (1986). Genetic variation and geographic differentiation in mitochondrial DNA of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. Genetics 112(3):613-627.

Capítulo 19: Relaciones evolutivas entre humanos y chimpancés

Giancarlo Roldan Salas:

www.sindioces.com

Rita Campos:

Ambrose SH (2001). Paleolithic technology and human evolution. Science 291 (5509):1748-1753.

Brunet M et al. (2002). A new hominid from the Upper Miocene of Chad, central Africa. Nature 418(6894):145-151.

Su DF (2013). Nature Education Knowledge. 4(4):11.

Ventura M et al. (2012). The evolution of African great ape subtelomeric heterochromatin and the fusion of human chromosome 2. Genome Res 22:1036-1049.

White TD, Asfaw B, Beyene Y, Haile-Selassie Y, Lovejoy CO, Suwa G, WoldeGabriel G. (2009). *Ardipithecus ramidus* and the paleobiology of early hominids. Science 326(5949):75-86.

Capítulo 20: Evolución del bipedismo

Juan Carlos Zavala Olalde:

Johanson D, Edgar B. (1996). From Lucy to language. Simon & Schuster Editions, New York. [Es una de las mejores guías ilustradas de evolución humana con fotografías de los fósiles en un gran formato. La información es muy breve, pero la perspectiva visual es inmejorable.]

Klein R. (1999). The Human career. Human biological and cultural origins. Second Edition, The University of Chicago Press, Chicago and London. [Es el trabajo más extenso que conozco sobre evolución humana. Tiene el nivel requerido para un estudio a nivel de licenciatura.]

Niemitz C. (2010). The evolution of the upright posture and gait - a review and new synthesis. Naturwissenschaften 97:242-263. [Es una revisión actual de todo lo dicho hasta la fecha y una nueva propuesta de solución al bipedismo.]

Capítulo 21: Evolución de la forma de los ojos

Paula F. Campos:

Allanson JE. (1990). Rubinstein-Taybi syndrome: the changing face.

Am J Med Genet Suppl 6:38-41.

Diakonoff IM. (1990). In Markey & Greppin. Disponible en http://acc.spc.uchicago.edu/atsmith/Electronic_Library/Diakonoff_1990.pdf.

Gottfredson LS. (1996). Race, evolution, and behavior: A life history perspective. *Polit Life Sci* 141-143. Disponible en <http://www.udel.edu/educ/gottfredson/reprints/1996reviewRushton.pdf>.

Howard-Jones N. (2012). On the diagnostic term “Down’s disease”. *Med Hist* 23:102-104.

Marin LDRP *et al.* (2012). Ocular manifestations of Noonan syndrome. *Ophthalmic Genet* 33:1-5.

Wallis HRE. (1951). The significance of Brushfield’s spots in the diagnosis of mongolism in infancy. *Arch Dis Child* 26:495-500.

Young R J. (1954). Congenital ectropion of the upper lids. *Arch Dis Child* 29:97-100.

Capítulo 22: Evolución de las arrugas de los dedos

Andreia Soares Parafita:

<http://gl.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/01/cientistas-descobrem-por-que-os-dedos-enrugam-na-agua.html> [Consultado en enero 2013] [Función de la arrugas y la explicación del fenómeno]

<http://visao.sapo.pt/cientistas-percebem-finalmente-por-que-os-dedos-enrugam-na-agua=f705657> [Consultado en enero 2013] [Experimento realizado por algunos científicos]

<http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/estudo-desvenda-por-que-dedos-enrugam-na-agua-10012013-5.shl> [Consultado en enero 2013] [Ancestros humanos]

<http://www.mundodrive.com/2013/01/por-que-dedos-enrugam-na-agua.html> [Consultado en enero 2013] [Arrugas en los dedos que se encuentran en los primates]

Rita Campos:

Changizi M, Weber R, Kotecha R, Palazzo J. (2011). Are wet-induced wrinkled fingers primate rain treads? *Brain Behav Evol* 77:286-290.

Kareklas K, Nettle D, Smulders TV. (2013). Water-induced finger wrinkles improve handling of wet objects. *Biol Lett* 9(2):20120999.

Summers B. (2013). Science gets a grip on wrinkly fingers. *Nature News* doi:10.1038/nature.2013.12175.

Capítulo 23: Orígenes y consecuencias de la inteligencia humana

Tamara Osuna:

<http://laenciclopediagalactica.blogspot.mx/2010/08/el-mito-del-cerebro-grandeentre-mas.html>

Luis Alfonso Hernández Vázquez:

<http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20111128080115AAFTOeT>

João Ramalhão:

Crow T. (2000). Schizophrenia as the price that *Homo sapiens* pays for language: a resolution of the central paradox in the origin of the species. *Brain Research Reviews* 31:118-129.

Crow T. (2004). Cerebral asymmetry and the lateralization of language: core deficits in schizophrenia as pointers to the genetic predisposition. *Rev Psiquiatr Rio Gd. Sul* 26 (2).

<http://www.nimh.nih.gov/health/publications/schizophrenia/what-is-schizophrenia.shtml>

http://www.who.int/mental_health/management/schizophrenia/en/

Luis Medrano González:

Crow TJ. (2000). Schizophrenia as the price that *Homo sapiens* pays for language: a resolution of the central paradox in the origin of the species. *Brain Research Reviews* 31:118-129.

Crow TJ. (2008). The big bang theory of the origin of psychosis and the faculty of language. *Schizophrenia Research* 102:31-52.

Deacon TW. (1992). Primate brains and senses. In: *The Cambridge encyclopedia of human evolution*. Jones S, Martin R, Pilbeam D. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 109-114.

Deacon TW. (1992). The human brain. In: *The Cambridge encyclopedia of human evolution*. Jones S, Martin R, Pilbeam D. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 115-123.

Deacon TW. (1997). *The symbolic species: the co-evolution of language and the brain*. W.W. Norton & Co. New York.

Jerison HJ. (1973). *Evolution of the brain and intelligence*. Academic Press. New York.

Leakey R, Lewin R. (1992). *Nuestros orígenes. En busca de lo que nos hace humanos*. Biblioteca de bolsillo. Crítica. Barcelona (1999).

Martin RD. (1981). Relative brain size and basal metabolic rate in terrestrial vertebrates. *Nature* 293:57-60.

Tattersall I. (2006). How we came to be human. *Scientific American*

16(2):66-73.

Wong K. (2006). The morning of the modern mind. *Scientific American* 16(2):74-83.

Capítulo 24: Evolução humana recente

Daniel João Henriques:

<http://hypescience.com/8-fatos-sobre-a-selecao-natural/>

<http://www.algosobre.com.br/biologia/o-homem-e-a-selecao-natural.html>

<http://hypescience.com/a-selecao-natural-ainda-esta-entre-nos/>

Revista “Super Interessante” Brasil, edição de Outubro de 1991 (adaptado)

Patricio Navarro Hermsillo:

<http://ultimasnoticias.us/2009/11/segun-cientificos-los-seres-humanos-siguen-evolucionando/>

Capítulo 25: Medicina evolutiva

Joana Vila:

Charles Darwin. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado en abril 2013].

Gomes RDM. (2008). Tuberculose Multirresistente. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Medicina. Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade da Beira Interior.

Rita Campos:

Glukman PD, Low FM, Buklijas T, Hanson MA, Beedle AS. (2011). How evolutionary principles improve the understanding of human health and disease. *Evol Appl* 4(2):249-263.

Nesse RM. (2001). How is Darwinian medicine useful? *West J Med* 174(5):358–360.

Nesse RM et al. (2010). Making evolutionary biology a basic science for medicine. *PNAS* 107:1800-1807.

Stearns SC. (2012). Evolutionary medicine: its scope, interest and potential. *Proc R Soc B* 279(1746):4305-4321.

http://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/medicine_01 [Consultado en Octubre 2013]

Capítulo 26: Darwinismo social

David Afonso:

A MARGem - estudos (2008). Uberlândia - MG, ano I, n.2, p.66-73.

Disponível em <http://www.mel.ileel.ufu.br/pet/amargem/amargem2/estudos/MARGEM1-E12.pdf>

Charles Darwin. In Infopédia. Porto: Porto Editora, 2003-2013. [Consultado em abril 2013].

Rui Faria:

Serre D, Paabo S. (2004). Evidence for gradients of human genetic diversity within and among continents. *Genome Research* 14:1679-1685.

<http://www.youtube.com/watch?v=shkWhBVfe3o>

<http://whyevolutionistrue.wordpress.com/2012/02/28/are-there-human-races/>

<http://whyevolutionistrue.wordpress.com/2013/10/27/robert-richards-new-collection-of-essays-on-the-history-of-evolutionary-biology-including-was-hitler-a-darwinian/>

Conceptos erróneos

Campos R, Sá-Pinto A. (2013). Early evolution of evolutionary thinking: teaching evolutionary biology in elementary schools. *Evolution: Education and Outreach* 6:25.

Coyne J. (2012). *A Evidência da Evolução*. Edições Tinta da China, Lda.

Organ CL, Schweitzer MH, Zheng W, Freemark LM, Cantley LC, Asara JM. (2008). Molecular phylogenetics of mastodon and *Tyrannosaurus rex*. *Science* 320(5875):499. doi:10.1126/science.1154284 [primeira imagem que se utiliza para corrigir a ideia equivocada “En una filogenia, un brazo largo indica que el taxón ha cambiado poco desde que se separó de otros taxa”]

Sá Pinto X, Campos R. (2012). *As borboletas da floresta amarela*. CIBIO, Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos. Porto, Portugal.



MUSEU DA CIÊNCIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

