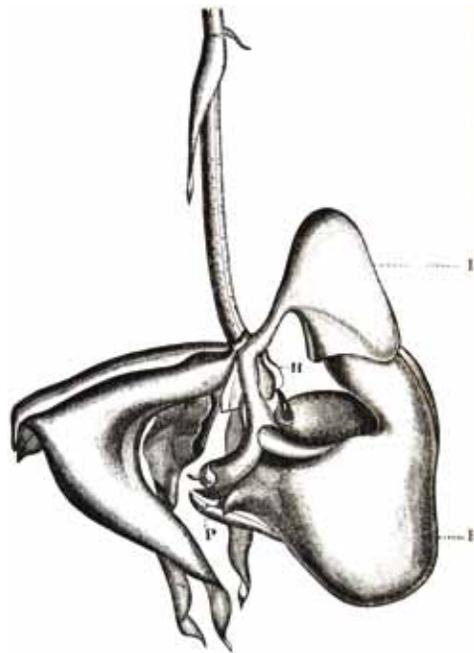


LA “ORQUÍDEA BALDE” Y OTROS DIEZ MILLONES DE ESPECIES



La orquídea *Coryanthes speciosa*.
Ilustración del libro “La fecundación de las orquídeas” de Charles Darwin.

Muy probablemente el lector haya oído o leído algo sobre “la evolución de las especies” y asocie el tema con el nombre de Charles Darwin. En las escuelas de casi todos los países del mundo la evolución biológica está incluida como un contenido a ser enseñado. Sin embargo, numerosos estudios muestran que la mayoría de las personas no comprende los principios básicos de la biología evolutiva. Esta situación es particularmente grave, considerando que las implicancias de esta teoría van más allá de lo estrictamente biológico, para relacionarse, por ejemplo, con cuestiones de gran relevancia social, tales como el racismo y la eugenesia. En las sucesivas entregas de esta columna analizaremos las variadas –y muchas veces polémicas– facetas de esta teoría, siguiendo la larga sombra (o, mejor aún, luz) que la idea de evolución proyecta sobre prácticamente toda la cultura occidental. En este viaje por la biología evolutiva el lector encontrará algunos conceptos fácilmente comprensibles... y otros, no tanto. Encontrará incluso algunas ideas que contradicen su intuición y otras que le resultarán inquietantes o antipáticas. En cualquier caso, lo alentamos a hacer un esfuerzo para superar estas barreras porque, le aseguramos, la recompensa bien lo vale: la evolución supone una visión de un mundo orgánico cambiante que realza el carácter único e improbable de cada criatura y que nos hermana con las demás especies.

Buenos trucos y una diversidad inabarcable

La “orquídea balde”, *Coryanthes trifoliata* para los botánicos, es una de las tantas orquídeas que crecen en las selvas tropicales de Sudamérica. La flor de esta orquídea tiene una estructura realmente compleja. En palabras de Charles Darwin “*El hombre más astuto, si no hubiese sido testigo de lo que ocurre, no podría haber nunca imaginado para qué sirven todas estas partes...*”.

La razón de ser de esta estructura se comprende cuando se descubre el particular “truco” que esta planta utiliza para su polinización. La “orquídea balde” debe su nombre a que la flor forma un recipiente que contiene un líquido acuoso segregado por ella misma. Esta planta es polinizada por los machos de una especie de abeja ¿Qué buscan las abejas macho en estas flores? Respuesta: un perfume afrodisíaco. Las hembras de esta abeja se ven atraídas por una sustancia que los machos recogen de los márgenes del “balde”. Cuando están ocupados en la recolección, con frecuencia los machos resbalan y caen en el agua. Intentan subir por las paredes pero estas son muy resbaladizas y en su desesperación por escapar la abeja termina hallando un orificio en la pared del “balde” por el que fuerza su paso. El orificio da lugar a un túnel que sale al exterior, con lo cual la abeja sale sana y salva... y tal vez algo agitada. Pero, y aquí está lo notable, el túnel cuenta con unas protuberancias estratégicamente ubicadas de tal modo que para salir la abeja se ve obligada a refregarse contra ellas y al hacerlo se le adhieren las masas de polen. Si la abeja ya traía polen, otro gancho en el túnel lo recoge. De este modo, la orquídea visitada por la abeja obtiene polen de otras flores para su propia fecundación y envía su polen a otras flores para fecundarlas. Como puede imaginar el lector, la forma, tamaño y ubicación de estos dispositivos deben ser increíblemente complejos y exactos para que la polinización resulte exitosa.

La “orquídea balde” es una de las aproximadamente treinta mil especies de orquídea existentes. Las orquídeas son solo una fracción de las doscientas setenta mil especies de plantas conocidas que, a su vez, constituyen solo una fracción de los casi dos millones de especies de seres vivos descritos actualmente. Por supuesto, deben de existir en el mundo muchas más especies de las que conocemos. Los expertos difieren en sus estimaciones sobre el posible número de especies existentes pero en los cálculos más conservadores se estima que existen unas tres millones de especies. Algunos expertos consideran que existen unas cien millones. En cualquier caso, es claro que existe mucho más de lo que conocemos—dicho sea de paso, la actividad humana está provocando la extinción de muchas especies antes de que sean siquiera descubiertas— y diez millones de especies parece ser una estimación realista.

Preguntas y teorías

La teoría de la evolución, como todas las teorías científicas, ha sido construida por los científicos para explicar cierto fenómeno del mundo y no es posible comprender en qué consiste una teoría sin entender qué preguntas pretende responder.

En el apartado anterior presentamos dos fenómenos que, en el ámbito de la biología, se denominan adaptación y diversidad biológica. El asombroso sistema de polinización de la “orquídea balde” es solo uno de los miles de ejemplos de sofisticadas adaptaciones conocidas. En realidad, no es necesario buscar ejemplos extravagantes como el que aquí presentamos. Tome el lector cualquier libro sobre anatomía y fisiología humanas y descubrirá que en su propio cuerpo existen infinidad de sistemas que realizan verdaderas proezas de ingeniería: los ojos, el corazón, el sistema inmunológico y, maravilla de maravillas, el

cerebro. La adaptación compleja no es una excepción sino que, por el contrario, es el sello de lo vivo. El segundo fenómeno que presentamos en el apartado anterior es la diversidad biológica. Deténgase el lector a reflexionar no solo sobre el número de especies que en este mundo aún existen sino también en los diversos tipos de organismos: el ceibo, la medusa, el yaguareté, la ballena franca, los hongos, las bacterias, los insectos, el ser humano y miles de otras formas habitan este planeta.

¿Cuál es el origen de la adaptación y la diversidad? Responder estas preguntas es el principal objetivo de la teoría de la evolución. Estas preguntas fueron formuladas por naturalistas y filósofos desde la antigüedad y las respuestas variaron según las épocas y lugares. Sin embargo, la complejidad de estos fenómenos fue tal que todas las respuestas, hasta el año 1859, debieron recurrir a entidades sobrenaturales para explicarlos. Ese año, el naturalista inglés Charles Darwin publicó su libro “El origen de las especies”, en el que ofrecía una explicación naturalista (esto es, sin recurrir a dios o ninguna otra entidad sobrenatural) de la adaptación y del origen de la diversidad que, en sus principios fundamentales, resultó corroborada por toda la investigación científica hasta nuestros días.

Y entonces... ¿Qué es la evolución?

Si observamos una población (ver cuadro 1) de cualquier especie notaremos que los individuos no son todos iguales. Tomemos, por ejemplo, un pequeño felino muy frecuente en nuestro país: el yaguarundí. Este gato presenta, como se observa en la figura, dos formas de color: rojizo y grisáceo. Ambas formas se encuentran en las mismas poblaciones e incluso dentro de una misma camada. En realidad, para prácticamente cualquier rasgo que observemos en cualquier especie encontraremos variedad (ver cuadro 2). Por ejemplo, si observamos a los zorzales de nuestros jardines veremos que unos son más rojizos y otros más grisáceos, unos más robustos y otros más ligeros. También podríamos comprobar fácilmente que en gran medida esta variabilidad es heredable: las crías de los zorzales grisáceos tienen más probabilidades de ser grisáceos que las crías de los zorzales rojizos. Pues bien, la evolución suele definirse como *la variación en la proporción de individuos con distintas variantes heredables de un rasgo de una generación a otra en una población*.

CUADRO 1 Especies y poblaciones

En biología, una *especie* es un conjunto de individuos que, en caso de encontrarse en la naturaleza, podrían producir descendientes que, a su vez, podrían continuar reproduciéndose. Sin embargo, en la naturaleza no cualquier individuo podrá aparearse con cualquier otro aunque más no sea por una cuestión de distancia geográfica. Por ejemplo, aunque pertenecen a la misma especie, un puma de la provincia de Santa Cruz no podrá aparearse con uno de la provincia de Misiones. Aun así, consideramos que pertenecen a la misma especie porque, *en caso de encontrarse*, podrían aparearse efectivamente. Armados con el concepto de especie podemos abordar el de población. Siguiendo con nuestro ejemplo, una *población* de pumas sería un conjunto de individuos de la misma especie que por vivir en la misma zona pueden *de hecho* (y no solo potencialmente) aparearse en forma efectiva.

Volviendo a nuestro ejemplo, si actualmente estudiáramos una población de yaguarundíes comprobaríamos que hay un determinado porcentaje de individuos rojizos y de individuos grisáceos, por ejemplo, un cincuenta por ciento de cada tipo. Si hiciéramos el mismo análisis de esta población cincuenta años después podríamos comprobar que, por ejemplo, el porcentaje de ejemplares rojizos se ha incrementado a un setenta por ciento. En tal caso podríamos decir que esta población ha evolucionado. Nótese que es la población lo que evoluciona y no los individuos.

CUADRO 2 El origen de la variación

Como hemos visto, entre los individuos en relación con uno o más rasgos ¿de dónde proviene esta diversidad que permite la evolución? La fuente primaria de esta diversidad son las mutaciones genéticas. Los genes son fragmentos de largas moléculas (de ácido desoxirribonucleico o ADN) presentes en el interior de cada célula. Estas moléculas contienen información que las células usan para fabricar (“sintetizar” en la jerga bioquímica) proteínas, otro tipo de molécula biológica. Las proteínas a su vez determinan en gran medida las características de los seres vivos. Así, síntesis de proteínas mediante, los genes determinan (junto con la influencia del entorno) en gran parte las características de los organismos. Una mutación es un cambio accidental, aleatorio, en un gen. Una mutación que se produzca en un óvulo, un espermatozoide o un cigoto estará presente en todas las células del nuevo individuo y como consecuencia este podrá presentar alguna característica diferente, por ejemplo, otro color de pelaje. El proceso de reproducción sexual supone, además, la generación de nuevas combinaciones de genes. Así, en todas las especies las mutaciones introducen continuamente nuevas variantes genéticas en las poblaciones y en las especies con reproducción sexual, además, se generan nuevas combinaciones de genes. Todos estos procesos generan la diversidad heredable que es la “materia prima” de la evolución.

Este ejemplo puede desconcertar al lector porque es probable que la palabra “evolución” evoque grandes y espectaculares cambios, tales como el origen de las aves a partir de un grupo de dinosaurios. Contra esta intuición, debemos comprender que la mayoría de los cambios evolutivos son sutiles y que los cambios más espectaculares resultan de la acumulación a lo largo de muchas generaciones de cambios más modestos, como el del ejemplo.

Así, aunque no nos impresione demasiado, nuestra hipotética población de yaguarundíes ha evolucionado. Lo que no hemos identificado en este ejemplo hipotético es la o las causas de este cambio en la proporción de los individuos con una u otra variante de color. Estas posibles causas son lo que los biólogos evolucionistas llaman “mecanismos evolutivos”.

Lo que intentaremos comprender a continuación es de qué modo estos mecanismos, especialmente la deriva genética y la selección natural, pueden generar nuevas especies y de qué modo pueden producir la adaptación de las especies a sus ambientes.

Evolución azarosa: la deriva genética

Imaginemos que en el ambiente ocupado por nuestra hipotética población de yaguarundíes tiene lugar un fuerte incendio que reduce significativamente el tamaño de la población. Supongamos que sobrevive solo un veinte por ciento de la población original. En tal caso, podría suceder, por pura casualidad, que todos los sobrevivientes fueran rojizos. Cuando los sobrevivientes se reproduzcan engendrarán (excepto por eventuales mutaciones) cachorros rojizos. Así, la proporción de individuos rojizos habrá pasado de cincuenta por ciento a cien por ciento. En este ejemplo, la población ha evolucionado por deriva genética.

Cabe resaltar que en este ejemplo la variante rojiza se impuso (se “fijó”, en la jerga de la biología evolutiva) por pura casualidad y no como consecuencia de ninguna ventaja asociada a dicha coloración. Podría suceder incluso que la coloración rojiza fuera desventajosa en comparación con la negruzca y que aun así se impusiera por deriva genética ya que este proceso no tiene direccionalidad alguna, sino que resulta totalmente irrelevante si la variante que se impone es conveniente, o no, para la supervivencia de los individuos.



Variabilidad poblacional. Variedades grisácea y rojiza del yaguarundi. Ilustración del autor.



Izquierda. Ñandú común. Ilustración del autor.

Derecha. Ñandú petiso o de Darwin. Ilustración del libro “Zoología del Beagle” de Charles Darwin.



Dada la aleatoriedad que define a la deriva genética, es imposible (en realidad, muy poco probable) que dicho proceso mejore a las poblaciones. Dado que un factor como el mencionado incendio es totalmente indiferente a las conveniencias de los organismos, semejante evento podría incrementar la frecuencia de cualquiera de las variantes de un rasgo. Así, la probabilidad de que incremente la frecuencia de una variante ventajosa es muy baja. Por eso decimos que la deriva genética no puede explicar la adaptación, es decir, no puede explicar cómo los organismos logran ese maravilloso ajuste con su medio. Para comprender cómo se produce la adaptación debemos recurrir al modelo de evolución por selección natural.

Evolución no azarosa: la selección natural y la adaptación

Presentaremos ahora la idea básica de selección natural, dejando para otras entregas la exploración de los numerosos aspectos particulares de este proceso, que merecen un tratamiento especial.

El primer hecho que hay que considerar para comprender el proceso de selección natural es la existencia de variantes heredables en una población. Como hemos mencionado, esta condición se cumple en toda población biológica. El punto importante es, en síntesis, que prácticamente todos los individuos son diferentes y que, en gran medida, estas diferencias observables son heredables debido a que están causadas por diferencias genéticas. Así, los descendientes de los yaguarundíes rojizos tenderán a ser más rojizos que los descendientes de los ejemplares grisáceos.

El siguiente fenómeno a tener en cuenta es que todos los organismos enfrentan numerosos factores ambientales que reducen sus probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Entre estos factores podemos mencionar los parásitos, los depredadores, la falta de alimentos, las inclemencias climáticas y la competencia por los recursos.

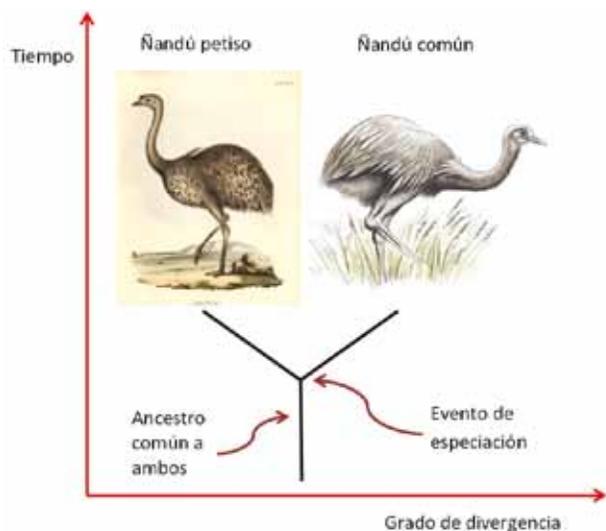
La idea de la selección natural fue desarrollada por el naturalista inglés Charles Darwin a mediados del siglo XIX (también fue propuesta en forma simultánea e independiente por otro naturalista inglés: Alfred Russell Wallace). La versión actual de la

teoría, tal como aquí la presentamos, es básicamente igual a la de Darwin. La principal diferencia deriva de los aportes de la genética posteriores a la primera década del siglo XX: Darwin sabía que en las poblaciones había variabilidad heredable, pero nada se sabía en aquella época de genes y mutaciones.

La genialidad de Darwin no consistió en descubrir ningún fenómeno sino en comprender cómo diversos hechos conocidos permitían explicar la evolución de las especies. Darwin comprendió que la gran diversidad heredable existente en las poblaciones hace inevitable que algunos individuos estén, por pura suerte, mejor equipados que otros para enfrentar aquellos factores que limitan las probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Supongamos, por ejemplo, que en un determinado ambiente el pelaje rojizo de algunos yaguarundíes les permite camuflarse, lo que mejora la búsqueda de comida ya que las presas tienen más dificultades para percibir al felino. Así, aquellos con pelaje rojizo estarán mejor alimentados y, como consecuencia, tendrán más probabilidades de sobrevivir y reproducirse que aquellos individuos con pelaje grisáceo. Asumiendo que la diferencia entre los yaguarundíes rojizos y grisáceos se debe a que tienen diferentes genes, esta diferencia será heredable. Así, los individuos rojizos dejarán, en promedio, más descendencia (con pelaje rojizo) que los grisáceos. El resultado de esta diferencia en el éxito reproductivo entre individuos con distinta coloración es que la proporción de individuos rojizos se incrementará generación tras generación. Vale decir, la población evolucionará por selección natural.

Es importante destacar que, a diferencia de lo que ocurre en el caso de la deriva genética, cuando una población evoluciona mediante selección natural el resultado es una población mejor adaptada a su ambiente. En nuestro ejemplo, como resultado de la selección, la población pasa a estar formada por más individuos con una coloración mimética que mejora el desempeño de los yaguarundíes como depredadores. Esta coloración rojiza sería, en este ejemplo, una de las tantas adaptaciones con que cuenta un animal como el yaguarundí. Así, a diferencia de la deriva, la selección produce adaptación.

Para comprender el poder de la selección natural para construir organismos tan maravillosamente adaptados como la “or-



Representación gráfica de la relación filogenética entre las dos especies de ñandúes.

quidea balde” debemos tener en cuenta que las mutaciones están continuamente introduciendo nuevas variantes en las poblaciones y que la selección “retiene” cada variante que supone una mejora en la “performance” del organismo en su medio. Así, tiene lugar un continuo perfeccionamiento de las adaptaciones.

¿Cómo surgen nuevas especies?

De acuerdo con la definición de especie que hemos adoptado (ver cuadro 1) una especie es un conjunto de individuos reproductivamente aislados de otros conjuntos similares. Así, para comprender cómo puede surgir, por ejemplo, una nueva especie de ñandú, deberemos explicar cómo y por qué un grupo de ñandúes podría quedar reproductivamente aislado de otros individuos semejantes.

Tomemos como ejemplo las dos especies de ñandúes que existen: el ñandú común (*Rhea americana* es su nombre científico) y el ñandú petiso o de Darwin (*Rhea pennata*). Ahora aceptemos que hace unos miles de años no existían estas dos especies de ñandúes y que, en cambio, existía solo una, a la que llamaremos el “ñandú ancestral”.

Imaginemos que las poblaciones de ñandú ancestral se extendían por una amplia zona de llanuras sudamericanas y que debido a cambios geológicos esta área de distribución quedó dividida en dos por un amplio río infranqueable para los ñandúes. Como consecuencia, los ejemplares de ambos lados del río no tenían oportunidades reales de aparearse, pero sabemos que en caso de encontrarse hubieran podido hacerlo. Por eso decimos que son dos poblaciones de la misma especie. Mientras este aislamiento reproductivo impuesto por la geografía persista, ambas poblaciones evolucionarán de un modo independiente e inevitablemente se harán cada vez más distintas (“evolución divergente”). Esto se debe a que el curso de la evolución está marcado por el azar: una mutación que surge en la población de un lado del río puede no surgir en la otra población. Además, los factores ambientales que seleccionan determinadas variantes pueden diferir en ambos márgenes, de modo que la selección natural puede acelerar la divergencia entre ambas poblaciones. Así, es casi imposible que ambas poblaciones evolucionen del mismo modo. Dado el tiempo suficiente, algún cambio evolutivo podría tener como consecuencia que aun en caso de un reencuentro entre ambas poblaciones, el apareamiento fuera imposible. En tal caso, diríamos que evolucionó un “mecanismo de aislamiento reproductivo”. Por ejemplo, en una de las márgenes del río se podría

haber impuesto un tipo de ritual de cortejo que para las hembras del otro lado careciera de significado alguno. Así, si ambas poblaciones se reunieran por la desaparición del río debida a una sequía, las diferencias en la conducta de cortejo impedirían que unos y otros se aparearan. En tal caso, ya tendríamos dos especies. Este fenómeno se conoce como “especiación”.

Este modelo de especiación se llama “alopátrico” (literalmente “patrias distintas”) porque ambas poblaciones se diferencian evolutivamente en distintas localidades geográficas. En otras entregas de esta columna veremos que existen otros posibles modos de especiación.

La relación evolutiva (“filogenética”) entre dos especies se representa mediante un “árbol evolutivo” como el que se muestra en la figura. La distancia horizontal entre las ramas del árbol representa las diferencias entre los linajes, mientras que la distancia vertical representa el paso del tiempo.

Aunque inicialmente estas dos especies serían muy semejantes, las diferencias tenderían a acentuarse con el tiempo. Además, estas especies podrían sufrir posteriores eventos de especiación para dar origen a nuevos grupos de especies derivadas. Así podemos imaginar que surgieron, por ejemplo, los cánidos (perros, zorros, etc.), los félidos (gatos, pumas, etc.) y otros tipos de carnívoros a partir de algún carnívoro ancestral.

Apenas un comienzo...

Los conceptos de selección natural y variabilidad heredable nos permitieron comprender cómo una población de felinos podía adquirir una coloración más adecuada a los requerimientos de su medio. El modelo alopátrico de especiación nos permitió comprender cómo podría surgir una nueva especie de ñandú. Tenemos, por lo tanto, una primera respuesta para las grandes preguntas de la biología evolutiva. Por supuesto, este es solo el comienzo. Cómo aplicar esta teoría a cada caso concreto es otro asunto, arduo y apasionante. Más difícil aún es evaluar la adecuación de estas explicaciones a la luz de las evidencias.

En posteriores entregas de esta columna exploraremos muchas de las complejidades de la biología evolutiva que hemos ignorado en esta introducción. Esto nos llevará a analizar muchos casos particulares de evolución y a afinar significativamente los conceptos introducidos. La invitación está hecha, esperamos que nos acompañen en esta reflexión sobre los orígenes de la diversidad y la adaptación, que es también una reflexión sobre el origen y naturaleza de la especie humana y, por lo tanto, del lector y de quien esto escribe. ■ ■ ■

Por Leonardo González Galli

Instituto de Investigaciones CEFIEC
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires
Escuela Argentina de Naturalistas
Aves Argentinas

Sobre los protagonistas

Orchidaceae - Epidendroideae - Cymbidieae - *Coryanthes trifoliata* (orquídea balde).

Orchidaceae - Epidendroideae - Cymbidieae - *Coryanthes speciosa*.

Felidae - Felinae - *Puma yagouaroundi* (yaguarundi, gato moro, león breñero, leoncillo, guina, gato eyrá).

Rheidae - *Rhea americana* (ñandú común, suri en quechua).

Rheidae - *Rhea pennata* (ñandú petiso o de Darwin, óiwu en tehuelche meridional).