

DE LAS BACTERIAS AL HOMBRE: LA EVOLUCIÓN

Autor: DANIEL PIÑERO



INDICE

COMITÉ DE SELECCIÓN

EDICIONES

INTRODUCCIÓN

I. ¿CÓMO SABEMOS QUE HA HABIDO EVOLUCIÓN BIOLÓGICA?

LAS ESPECIES DEL PASADO Y LAS ACTUALES NO SON LAS MIS-
MAS

II. LAS ESPECIES ESTÁN ADAPTADAS AL LUGAR DONDE VIVEN

III. LA FORMA COMO LAS ESPECIES APARECEN Y DESAPARECEN

IV. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL HOMBRE



Daniel Piñero estudió biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM y se doctoró en la Universidad de California en Davis, especializándose en genética de poblaciones y evolución. Actualmente colabora en programas de investigación y de formación de personal en la UNAM.

la **ciencia /25** desde México

Primera edición 1987

Cuarta reimpresión 1996

La Ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D.R. © 1987, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S.A. DE C.V.

D.R. © 1995, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México D.F.

ISBN 968-16-2540-4

Impreso en México

A los quince años descubrí que existe una clara homología entre las extremidades de los caballos y las nuestras. Que modificando nuestra estructura ósea se puede obtener la de un perro y que sin hacer gran cosa se obtendría la de un simio. La idea de transformación, de evolución quedó sembrada en mí y desde entonces he tratado de entenderla. En el proceso he aprendido mucho del mecanismo de la evolución, la historia de sus conceptos, sus teóricos principales y sus fenómenos más importantes. Para ello he trabajado en diversos aspectos de la biología. La bioquímica, la ecología y la genética han sido las herramientas que he usado para entender la evolución. Todos los aspectos esenciales de ese aprendizaje están plasmados en este libro en el que quise exponer cómo es entendida en la actualidad la teoría de la evolución.

Debo disculparme con aquellos lectores que necesiten saber no sólo de la fortaleza de la teoría, que es de lo que trata este libro, sino también de sus debilidades. Eso lo dejo a su motivación y a la lectura de otros libros más técnicos que enfrentan en particular los aspectos más controvertidos de la teoría. Quisiera dejar en el ánimo del lector ambas impresiones: por un lado, que la teoría de la evolución es sólida y por otro, que muchos de sus aspectos deben ser mejor entendidos todavía.

Asimismo, quisiera mencionar que dejé fuera toda la teoría matemática en la que se apoya la genética de poblaciones, objeto de análisis de la adaptación biológica y parte central de la evolución, aspecto sobre el que se podrá avanzar en otras lecturas.

Muchos han sido mis maestros en mis años de formación académica en el campo de los estudios evolutivos, pero quisiera mencionar a algunos en particular: el Dr. A. Rodríguez-Casus quien en

1967 me enseñó el fenómeno de la transcripción y abrió mi mente a la biología molecular; el Dr. Rafael Palacios siempre ha compartido conmigo muchas inquietudes que, aunque no involucren a la hormiga y al elefante, inciden en los principios básicos de biología. Su concepto de la investigación fue sin duda determinante en mi formación; el Dr. Sarukhan me enseñó que hay descripción y experimentación así como la diferencia entre una hoja simple y una compuesta, también me enseñó el darwinismo más puro. Su concepción de la importancia del ambiente en los estudios evolutivos han guiado gran parte de mi trabajo de investigación. Los doctores L. D. Gottlieb, T. Prout y M. Turelli me transformaron en lo que formalmente se llama un genetista de poblaciones; doy gracias a todos ellos. En la Universidad Nacional Autónoma de México fui proveído de mi formación en licenciatura y maestría y se me apoyó para obtener una formación crítica en el área de genética de la evolución. Agradezco que se haya impulsado dentro de ella la formación de un grupo de trabajo dedicado a la biología evolutiva.

El presente libro lo redacté con la ayuda constante de Ana Barahona y Luis Eguiarte con los que discutí muchas de las ideas y ejemplos que contiene. Valeria Souza y Felipe Villegas elaboraron las figuras. Aprecio su dedicación. Quisiera agradecer también al Fondo de Cultura Económica, a la Secretaría de Educación Pública y al Consejo de Ciencia y Tecnología su idea y su apoyo a los científicos mexicanos, de modo que podamos exponer, para su divulgación, los conocimientos que ocupan nuestra vida.

México, D.F., noviembre de 1986.

HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA

CUANDO en la escuela nos enseñan historia lo que hacen es enseñarnos la historia de la civilización. El hombre ha vivido en diferentes sociedades organizadas por aproximadamente 10 000 años, con una civilización basada en la cultura. Pero la historia que nos enseñan sólo cubre una parte de ese periodo, esto es, los últimos 2 000 años. Para la historia de la vida en la Tierra este lapso es muy pequeño, puesto que ésta tiene 400 000 "historias" de nuestra civilización. Así pues, lo que aprendemos no es más que el último acto de una historia que incluye la historia de la Tierra, o en forma más general, la del Universo. A veces un número no refleja la idea que quisiéramos transmitir. Para imaginarnos el periodo de tiempo que incluye la historia de la vida se ha comparado la historia del hombre con el último minuto y medio de un día de 24 horas, o con la última página de un libro de 4 000 hojas. Esto es, hemos leído una página de un relato del cual desconocemos 3999 de ellas. Un sentimiento de insignificancia recorre entonces nuestro cuerpo. No parece que seamos el evento más común de la historia de la vida en la Tierra.

Nos gustaría conocer pues algunos aspectos de esta historia. En principio quisiéramos saber ¿cuándo? y ¿quiénes? Para responder estas preguntas el hombre ha tenido que entender dos fenómenos. El primero es el llamado proceso de fosilización y el segundo el decaimiento de material radiactivo. La fosilización es un fenómeno que induce tanto la preservación de las partes duras de los organismos (conchas, huesos, etc.), como la de moldes o huellas de éstos. Vemos así que los organismos que han existido en el pasado han dejado huellas que se han preservado como tales por miles y hasta por millones de años. Los fósiles son, de hecho, el único tes-

timonio biológico de lo ocurrido en la Tierra en el pasado. Una vez que se encuentra un fósil es necesario localizarlo en el tiempo. ¿De cuándo es? Para ello se usan métodos de fechado utilizando elementos radiactivos. Estos elementos tienen la característica de emitir partículas en una proporción constante que depende del elemento de que se trate. Por ejemplo, el carbono-14 (isótopo radiactivo del carbono-12 que es el carbono más común) tiene una vida media de 5 730 años. Es decir, que si partimos de una roca en donde, digamos, que había 100 gramos de carbono-14, en 5 730 años habrá 50 gramos de carbono-14 (o sea 50 gramos de carbono-12). Así, al medir la cantidad de estos elementos se puede saber la edad aproximada de la roca y por tanto la de los fósiles que se hallan en ella. Otros elementos como el potasio-40 y el uranio-235 tienen una vida media mucho mayor (de 1 300 y 713 millones de años respectivamente), por lo que son usados para fechar rocas mucho más antiguas.

La presencia de fósiles y la capacidad que se tiene para fechar la época en la que existieron facilita enormemente el trabajo del paleontólogo (el biólogo que se dedica a estudiar los fenómenos que han ocurrido en el pasado geológico). Se puede ir entonces reconstruyendo lo que ha ocurrido sobre la Tierra. Los resultados de estas investigaciones han sido sorprendentes. En primer lugar se ha encontrado que la historia de la vida en la Tierra es muy larga (aproximadamente 3 800 millones de años) y casi tan antigua como las rocas más viejas encontradas en ella (4 800 millones de años). Pocas otras evidencias tenemos entre los 3 800 millones de años y los 2 000 millones que no sean algunos fósiles. Los más viejos que se han encontrado son microscópicos, algunos redondeados y otros alargados. Sin duda durante ese periodo se originó la vida. Desde el punto de vista paleontológico esa época es una caja dentro de la que no podemos asomarnos.

LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EXISTE DESDE HACE 2 000 MILLONES DE AÑOS

Hace alrededor de 2 000 millones de años ocurrió una revolución ambiental en nuestro planeta: la composición de la atmósfera que contenía una gran cantidad de hidrógeno y otros compuestos ricos en este elemento (metano, ácido cianhídrico, ácido sulfúrico) comenzó, como ocurre en algunos planetas actuales, a tener concentraciones muy altas de oxígeno. Como se sabe el oxígeno es un gas importante para la vida por dos razones opuestas: la primera porque funciona como un recurso importante para organismos que, como el nuestro, no pueden utilizar la energía ambiental (por ejemplo la del Sol) directamente, y la segunda porque al ser muy tóxico es muy reactivo. Las concentraciones de oxígeno en una atmósfera reductora (con altas concentraciones de compuestos de hidrógeno) son menores del 1%. En nuestra atmósfera actual la concentración es del 21%. ¿De dónde viene este oxígeno? ¿Quién lo produjo?

De hecho la concentración de oxígeno en el Universo es de alrededor de 0.005%. Sólo el fenómeno fotosintético mediante el cual los organismos como las plantas unen moléculas de bióxido de carbono fueron poco a poco "contaminando" la atmósfera con oxígeno. No fue sino hasta entonces cuando la concentración de oxígeno fue suficientemente grande, que otros organismos que requieren de oxígeno para vivir (como nosotros) pudieron desarrollarse. Este fenómeno en el que un grupo de organismos viven en un ambiente particular y lo modifican de tal manera que otros organismos con características diferentes pueden ahora crecer allí se llama, en otra escala, sucesión ecológica y es una versión académica del dicho "nadie sabe para quien trabaja". Además demuestra que la evolución es un proceso muy dinámico que involucra tanto modificaciones ambientales como los organismos.

¿QUÉ SON LOS PRIMEROS FÓSILES?

Los fósiles más antiguos de los que se tiene evidencia fueron encontrados en Fig Tree Chart, África. Tienen una edad aproximadamente de 3 300 millones de años. Son restos de la pared (estructura que envuelve la membrana de una célula) de organismos unicelulares difíciles de interpretar. ¿Qué apariencia tenía la Tierra entonces? Si sólo había organismos formados por una sola célula no había árboles ni hierbas ni ranas. Muchos de estos organismos primigenios vivían en comunidades acuáticas formadas por varios cientos de especies diferentes. Estas comunidades, llamadas estromatolitos, eran mundos en sí mismos. Había entonces una gran diversidad de especies y una gran complejidad en estos ecosistemas microscópicos. En la actualidad, en algunas partes del mundo, como Australia, todavía pueden encontrarse comunidades de estromatolitos que nos ofrecen una ventana para asomarnos a lo que ocurría en el pasado. Por su forma característica de crecimiento los estromatolitos forman columnas que van aumentando en diámetro y en altura a una velocidad que depende de la vida que tiene una célula. En cada generación la comunidad se incrementa por la acumulación de los restos de las células que mueren.

Ésta fue entonces una Tierra completamente diferente a la actual. Las especies que la poblaban eran muy diferentes de las que existen hoy en día; el paisaje no contenía ni llanuras ni montañas verdes. La Tierra era del dominio de la Tierra, no de la vida. Las aguas en cambio contenían todas las especies existentes. De hecho, la atmósfera de entonces no hubiera permitido la existencia de la mayoría de las especies que viven en la actualidad. Éstas, como ya sabemos, viven en condiciones oxigénicas (altas concentraciones de oxígeno). Aun así, las especies de hace 3 300 millones de años y las actuales tienen algunas características en común, siendo la más importante el que aquéllas son ancestros de las actuales. El estudio

del fenómeno evolutivo es entonces la descripción del cambio de unas especies en otras y de los mecanismos involucrados en el proceso.

La historia de la vida en la Tierra está llena de eventos que han modificado el desarrollo posterior de los organismos. Un primer ejemplo de este tipo de eventos lo representa el incremento en la concentración de oxígeno en la atmósfera. Veamos otros eventos tan importantes como éste.

HIJOS IGUALES A LOS PADRES

Sin duda la aparición de la vida es en sí el evento que más ha modificado la historia de nuestro planeta. La vida, un fenómeno difícil de caracterizar, pero de todos entendido, tiene como una de sus características más importantes la autorreplicación. Las células se dividen y tienen células hijas de la misma manera como el hombre se reproduce y tiene hijos. Tanto las células hijas como nuestros hijos se parecen a los padres porque la molécula encargada de la herencia, el ácido desoxirribonucleico (ADN), se autorreplica en una molécula idéntica que garantiza que las características se heredan de padres a hijos.

Este fenómeno que se expresa en nuestra apariencia exterior pero que tiene su origen en la exacta duplicación de esta molécula parece ser uno de los atributos más importantes de la caracterización de la vida. Pero la complejidad del ADN no se detiene en la forma como se replica. Esta molécula funciona como el director de las funciones de la célula, las cuales consisten en utilizar energía externa para producir nuevas células y mantenerse vivas.

SABER COMER

La célula obtiene la energía del medio ambiente por medio del metabolismo. En la actualidad hay dos tipos principales de metabolismo en nuestro planeta: el primero de ellos consiste en obtener la energía en forma de compuestos químicos; generalmente los organismos que la consiguen de esta manera, la obtienen de otros organismos. El segundo de ellos consiste en adquirir la energía en forma de ondas físicas, o lo que es lo mismo, los organismos que lo hacen así se llaman fotosintéticos y llevan a cabo una reacción que es central en la Tierra. La vida en nuestro planeta depende precisamente de esta reacción. Es más, aquellos organismos que utilizan la energía en forma de sustancias obtenidas de otros organismos (heterótrofos) dependen directamente de la existencia de aquellos que fijan la energía obtenida del Sol (fotosintéticos). Así, la fuente de energía del Sol mantiene la vida sobre la Tierra. La actividad de los organismos fotosintéticos es también la responsable de la alta concentración de oxígeno en nuestra atmósfera desde hace aproximadamente 2 000 millones de años. Si la vida tiene entonces 3 300 millones de años sobre la Tierra y sólo hace 2 000 millones que tenemos este escenario con autótrofos y heterótrofos, ¿cómo era antes? La presencia de una atmósfera reductora impedía la existencia de organismos heterótrofos como los conocemos ahora. Existían entonces y en grandes cantidades organismos quimiosintéticos que, aunque usaban energía química, lo hacían de manera distinta de como lo hacen los actuales heterótrofos; esto es, dependían de la fotosíntesis para su existencia. La aparición de la fotosíntesis fue entonces uno de los eventos más importantes de la historia de la vida en la Tierra.

AMIGOS, MUY AMIGOS, AMIGUÍSIMOS

Las bacterias y algas primitivas (algas verdeazules) son células sin una gran complejidad estructural. Están constituidas por una membrana y una pared celulares que son las estructuras que llevan a cabo la síntesis de proteínas (ribosomas), y por una molécula de ácido desoxirribonucleico. Nuestras células en cambio son bastante más complejas. Entre las características más importantes que las distinguen de las bacterias se encuentra la presencia de un núcleo donde está localizado el ácido desoxirribonucleico, el cual está organizado a su vez en estructuras llamadas cromosomas en las que el ADN se asocia a moléculas de proteína.

Otra característica es la presencia de estructuras especiales para llevar a cabo la respiración (Figura 1); estas estructuras llamadas mitocondrias tienen características muy curiosas ya que cuentan con su propio sistema de síntesis de proteínas y su propia molécula de ADN que está organizada en un círculo como ocurre en las bacterias. Parecen ser entonces células dentro de células. De hecho se ha encontrado una gran cantidad de pruebas que sugieren que las mitocondrias son descendientes de bacterias que hace mucho tiempo (aproximadamente 1 500 millones de años) establecieron una relación simbiótica, especializándose en funciones particulares.

El mismo fenómeno parece haber ocurrido en el caso de otras estructuras, los cloroplastos, que en las plantas verdes llevan a cabo la fotosíntesis. Éstas también tienen su propia maquinaria de síntesis de proteínas y su propia molécula circular de ADN. Es decir, las dos funciones metabólicas que en la actualidad son las más importantes para la vida, la respiración y la fotosíntesis, se han "encargado" a células que se han asociado con otras.

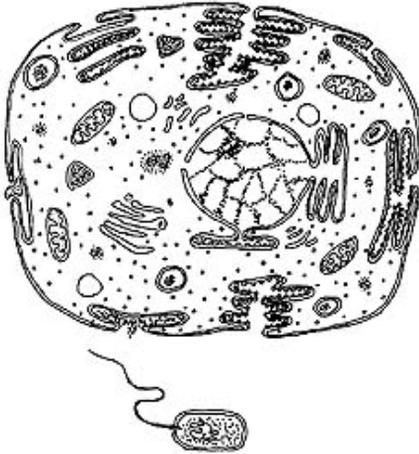


Figura 1. Una de las revoluciones más importantes a lo largo de la historia de la vida en la Tierra fue la aparición de la célula con un núcleo verdadero (eucarionte). Aquí se compara la complejidad de una célula con núcleo con la de una bacteria (procarionte) sin núcleo.

El resultado de tan importante fenómeno fue una nueva célula (que seguramente como ya dijimos apareció hace 1 500 millones de años) con estructuras descendientes de simbiosis con varios tipos de células. La célula eucarionte (con un núcleo verdadero) había nacido y conviviría por lo menos durante los siguientes 1 500 millones de años con la célula procarionte (sin núcleo verdadero). Pocos cambios han sido tan importantes durante la historia de la vida en la Tierra. En la actualidad se estima que hay un millón y medio de especies de las que el 80% son células eucariontes. Este es un buen ejemplo de cómo un cambio en la organización de los organismos genera lo que se ha llamado radiación adaptativa, esto es, una explosión de especies nuevas después de un cambio estructural que facilita la adaptación de los organismos en ambientes diferentes. Sin duda, la aparición de la célula eucarionte fue una modificación de tal magnitud que determinó el camino que tomaría la evolución de las especies.

AMIGOS, MUY AMIGOS Y YA

La mayoría de las plantas y de los animales que vemos todos los días no están compuestos por una sola célula. Se llaman organismos multicelulares. Son organismos que tienen un nivel de complejidad mayor que el de los organismos de una sola célula. Estos seres, formados por la "cooperación" de muchas células, se originaron hace aproximadamente 1 000 millones de años y representan otra gran revolución de la vida sobre la Tierra. Células de un mismo organismo se especializaron en diferentes funciones. Unas en la reproducción, otras en la respiración y otras más en diferentes aspectos del metabolismo y la estructura de los organismos. La formación de tejidos y órganos había comenzado.

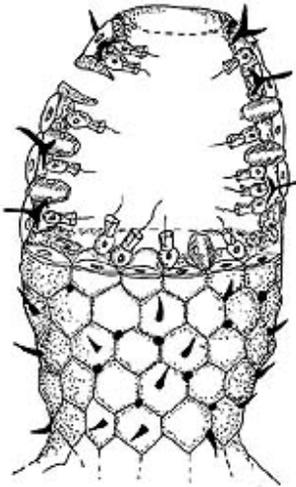


Figura 2. Entre los organismos multicelulares más sencillos se encuentra la esponja. Cuenta con células con cilios que mueven el agua donde se encuentra el alimento, así como células que lo absorben. La división del trabajo fue sin duda una de las revoluciones más importantes en la historia de la vida en la Tierra.

Las esponjas marinas son de los animales multicelulares más sencillos, ya que sólo están formadas por tres tipos de células. Éstas están organizadas de tal manera que cada una de ellas lleva a cabo funciones de absorción del alimento, su metabolismo y la

excreción del material residual. Su forma de comer consiste simplemente en hacer circular agua por un conducto central (Figura 2), siendo las células que están en contacto con el conducto las absorbentes, las intermedias las que metabolizan y las más externas al conducto las excretoras. Ésta es una forma muy sencilla de aumentar la complejidad incrementando la eficiencia con la que se utilizan los recursos del medio ambiente.

Recordemos que para cuando aparecieron los primeros seres multicelulares (hace aproximadamente 1000 millones de años) la vida ya llevaba alrededor de 2 500 millones de años de existencia en la Tierra. Durante estos años predominaron solamente los organismos unicelulares (tanto procariontes como eucariontes). La Tierra fue entonces propiedad exclusiva de los organismos durante el 71% de la historia de la vida. El mundo que hoy vemos es desde luego muy diferente de aquel reino, durante esos 3000 millones de años nuestro planeta adquirió una nueva fisionomía, con organismos muy diferentes de los que hasta entonces habían poblado nuestro planeta: una nueva radiación adaptativa se había iniciado.

LA ÉPOCA QUE MEJOR CONOCEMOS DE LA HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA

De los eventos que hemos estado analizando hasta ahora, que comprenden el periodo anterior a los 550 millones de años, tenemos un registro fósil muy incompleto. Esta época que ocupa alrededor de 3 000 millones de años, es realmente muy poco conocida. Las conclusiones sobre ella se basan generalmente en hechos indirectos. Por ejemplo, el incremento en la concentración de oxígeno lo inferimos por la presencia de estratos rocosos oxidados de hace 2 000 millones de años.

Todo ese largo periodo es conocido como Precámbrico. Cuando el Precámbrico terminó se inició el Fanerozoico, que es la época que mejor conocemos de la historia en la Tierra. El registro fósil de esta época es completo: tenemos huellas de organismos, registros de sus partes duras (huesos, conchas, etc.), moldes en roca y en algunos casos hasta huellas de sus partes blandas.



Figura 3. La configuración de las masas terrestres hace aproximadamente 150 millones de años.

Había dos grandes masas, Laurasia y Gondwana que empezaban a dividirse.

La época Fanerozoica está dividida en cuatro eras. La parte final del Precámbrico (periodo Ediacárico), la era Paleozoica que ocupa aproximadamente 300 millones de años. La Mesozoica, 150 millones de años, y la Cenozoica, 60 millones de años (Cuadro 1). A grandes rasgos la primera era se caracteriza por la aparición de organismos de cuerpo blando con forma de gusanos. Durante el Paleozoico aparecen los primeros animales con esqueleto. Es en ese entonces cuando el paisaje de la Tierra está dominado por helechos arborescentes, cuando los peces óseos alcanzan su mayor di-

versificación y cuando aparecen los primeros anfibios y reptiles. La Era Mesozoica se caracterizó por la dominación de los dinosaurios, apareciendo también los primeros mamíferos y las primeras aves. Hacia el final de esta era aparecen las primeras plantas con flores (hace aproximadamente 100 millones de años), por último, en la era Cenozoica nos encontramos con la diversificación (hace entre 100 000 y 200 000 años), con la aparición del hombre.

En estos últimos 550 millones de años han sido, pues, en los que se ha originado la mayor parte de los animales que conocemos ahora. Pero si pudiéramos dar una vuelta en el tiempo encontraríamos que la Tierra tal y como la conocemos ahora es muy reciente. Los dinosaurios conocieron sólo las plantas más primitivas y cuando se originaron los anfibios no había ni una planta con flores como la que nos enseñan en la escuela. Esto refuerza la idea de que la historia de la vida en la Tierra, aun en este periodo, ha sido muy cambiante. Los organismos han estado sujetos a cambios ambientales que no sólo incluyen cambios en la temperatura y la humedad del ambiente, sino que también se refieren a cambios en su medio ambiente biótico (las especies animales y vegetales que los rodean) que incluyen competidores, depredadores y presas.

LA HISTORIA DE UNA RANITA

Nací hace aproximadamente 350 millones de años. Algunos dicen que soy un poco vieja. Yo me siento joven. Eso sí, he visto mucho mundo. Cuando nací mis padres se mudaron a otra parte. El mundo de entonces no tenía muchos continentes, solo uno. Toda la tierra estaba unida en un solo continente (la Pangea). Nosotros viajábamos de lago en lago aunque en algunos casos eran más bien charcos. Así fuimos del África Central a la América del Sur actual donde vivían unos familiares (Figura 3).

CUADRO I. La historia de la vida en la Tierra en los últimos 700 millones de años

<i>Era</i>	<i>Periodo</i>	<i>Época</i>		<i>Eventos</i>				
Cenozoico	0	Cuaternario	Pleistoceno	(1.8)	Evolución del hombre			
	50	Terciario (65)	Plioceno	(6.3)	Radiación de los mamíferos			
			Mioceno	(26)				
			Oligoceno	(38)				
			Eoceno	(54)				
Mesozoico	100		Paleoceno		Últimos dinosaurios			
			Cretácico	(136)	Primeros primates			
					Primeras plantas con flores			
			Jurásico	(190)	Dinosaurios			
			Triásico	(225)	Primeras aves			
Paleozoico	200				Primeros mamíferos			
	250				Pérmico	(280)	Primeros reptiles	
	300				Carbonífero	(345)		
	350				Devónico	(395)		Helechos con semillas
								Primeros anfibios
Peces mandibulados								
400	Silúrico	(430)	Primeras plantas vasculares terrestres					
450	Ordovícico	(500)						
500								
550				Cámbrico	(570)	Primeros peces		
Precámbrico	600				Primeros cordados			
					650	Ediacárico	(700)	
					700			

He visto selva donde ahora hay desierto. Donde había mar, la tierra emergió. Recuerdo que durante una época, todo nuestro alrededor eran enormes animales. Algunos con largos cuellos, otros con los pies tan grandes que hasta los de mi papá parecían pequeños. Unos volaban y otros vivían en los mares. Los dinosaurios ponían huevos para tener dinosaurios. Algunos comían hojas y otros sólo a otros dinosaurios. Todos comían mucho. Los árboles

de entonces eran grandes helechos que no tenían flores. Poco a poco fueron apareciendo plantas con flores. Las magnolias fueron de las primeras.

Nuestra comida, en cambio, no ha variado. Hemos comido insectos por muchos años. Algunos de los cambios del clima sí han afectado directamente a varios de mis parientes. Mi primo fue perdiendo su lago poco a poco. Un día el agua no fue suficiente para todos. Algunos se fueron y otros, al no resistirlo, murieron. Mi primo encontró otro lago y ahora vive allí, sin acordarse de aquello. Hace como 65 millones de años los dinosaurios dejaron de existir, así, sin decir nada. Será porque no pudieron resistir los cambios en "su lago". También un día ya no pudimos regresar al África. Los continentes se habían ido separando y el Océano Atlántico se ha hecho cada vez más difícil de cruzar. Muchas montañas y cordilleras han surgido en estos años. El Himalaya, por ejemplo, emergió después de que India, que era una isla alejada de Asia, chocó y se unió a ese continente. Esa época estuvo llena de terremotos y temblores. La Tierra era peligrosa por entonces.

¡Y SE MUEVE!

Nuestra rana nos ha estado hablando de un fenómeno que se ha considerado muy importante durante la historia de la vida en la Tierra desde hace aproximadamente 250 millones de años. Este fenómeno ha sido llamado deriva continental y consiste en el movimiento, sumamente lento, que han tenido los continentes. Este movimiento ha generado la separación de las distintas masas de tierra hasta la localización que tienen en la actualidad. Las especies vegetales y animales deben parte de su situación actual precisamente a ese movimiento. De hecho, las primeras evidencias que sugirieron que los continentes se han movido provinieron de la

distribución actual de algunas especies relacionadas. Por ejemplo, la fauna de la parte sur de América, África y Australia es muy parecida.



Figura 4.

Antes de la formación del puente de Panamá hace aproximadamente 2 millones de años, las faunas de América del Norte y Sudamérica tenían orígenes diferentes, pero ocupaban lugares similares en la naturaleza. El camello que conocemos corresponde al que aparece en América del Norte. El de América del Sur ya se extinguió.

Este tipo de dinámica geológica muy probablemente no ha sido única durante la historia de la vida en la Tierra, pero en el periodo anterior a los 500 millones de años es muy difícil reconstruir los eventos. De cualquier manera podemos suponer que debe haber habido una dinámica continental muy activa en 3 300 millones de años.

¿QUÉ NOS DICE LA HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA?

Esta sección nos ha llevado a las siguientes conclusiones:

La historia de la vida en la Tierra ha sido muy dinámica; sólo una cierta proporción de las especies que han existido se encuentra viviendo en la actualidad.

La historia de la vida en la Tierra ha estado salpicada de eventos muy importantes que incluyen tanto cambios en el ambiente físico como modificaciones profundas en la organización y estructura de los organismos.

De las modificaciones al medio ambiente físico podemos citar como particularmente importantes el cambio en la composición de la atmósfera por la actividad de los primeros organismos fotosintéticos, hace aproximadamente 2 000 millones de años; la modificación de la distribución de los continentes en los últimos 250 millones de años que afectaron la distribución de las especies y por último, la modificación local de los ambientes, como las elevaciones del Istmo de Panamá o las diferentes glaciaciones. Estas modificaciones han afectado también la distribución de la fauna y las flores actuales.

De entre las modificaciones a la organización y la estructura de los organismos se pueden mencionar todas las relacionadas con la integración de las funciones básicas de una célula: mantenimiento, crecimiento y reproducción. Otras, también muy importantes, incluyen el origen de los organelos de la célula eucarionte (mitocondrias, cloroplastos, etc.) como el resultado de la simbiosis de células individuales y el origen de los organismos multicelulares por la colaboración de células especializadas en diversas funciones.

Otra generalización que podemos hacer es que ha habido grupos que han existido por mucho tiempo (por ejemplo, los tiburones), mientras que otros han sobrevivido por tiempos comparativamente más breves.

Durante la historia de la vida en la Tierra ha habido cambios en la composición de la biota de nuestro planeta así como en la abundancia de cada una de las especies que la pueblan. La conclusión que podemos hacer es, entonces, que deben de haber existido even-

tos en el pasado que transformaron unas especies en otras. Que la historia de la vida en la Tierra es en sí un proceso de transformación de especies. A ese proceso se le llama evolución y el registro fósil, en su dinámica, nos muestra la evidencia de que este fenómeno ha existido

LAS ESPECIES SE PARECEN UNAS A OTRAS PORQUE ESTÁN EMPARENTADAS

¿Quién no se ha fijado en que las personas que están relacionadas por su ascendencia se parecen entre sí? La idea de que la similitud significa origen común es característica de nuestra cultura. Este argumento es el que se usa para demostrar la existencia de un fenómeno dinámico de generación de las especies. ¿Quién negaría que el cráneo de un perro o de un orangután es más parecido al cráneo de un ser humano que al de un pez? ¿O que todas las especies anteriores se asemejan más entre sí que lo que lo hacen a un insecto que ni siquiera tiene cráneo? Aristóteles dividió al mundo orgánico en plantas y animales. La presencia de partes verdes agrupa en forma natural a las plantas y las separa de los animales que requieren de sustancias orgánicas ya sintetizadas para su alimentación. Al mismo tiempo que existe esta diversidad de formas, hay características que le dan a la materia viva una clara unidad. El hecho más importante que demuestra esta unidad lo da la existencia de un código genético universal. Los organismos usan un código de cuatro letras (las moléculas adenina, guanina, citosina y timina) para transmitir sus caracteres genéticos a su descendencia y para dirigir su metabolismo, su crecimiento y su reproducción. Estas cuatro moléculas están organizadas en una larguísima macromolécula de ácido desoxirribonucleico. La síntesis de las proteínas de los organismos está dirigida por la secuencia de estas cuatro moléculas en el ADN. El código genético funciona con grupos de tres

moléculas para determinar la presencia de un aminoácido específico en una molécula de proteína. Así, el triplete AAA (tres adeninas) determina la síntesis del aminoácido lisina en una molécula de una proteína.

Todos los organismos utilizan el mismo código genético, el mismo lenguaje molecular. Este hecho demuestra que, además de que la vida tiene como característica principal la unidad, su origen seguramente es común.

Pero al mismo tiempo la vida es un fenómeno diverso. Algunas especies están organizadas en tejidos y órganos, mientras que otras son unicelulares. Algunas tienen un esqueleto interno como el hombre, mientras que otras lo tienen externo como los escarabajos. Aun así, la vida de todas estas especies está unida por la lengua en la que se comunican bioquímicamente.

Usando los caracteres que definen a las especies, los biólogos las clasifican. Esto supone que muchos de los caracteres que dos especies comparten se originaron en un ancestro común del cual derivaron ambas. La similitud entre ellas nos puede entonces informar acerca de su origen. Veamos cómo es que se puede reconstruir el pasado de especies que se parecen.

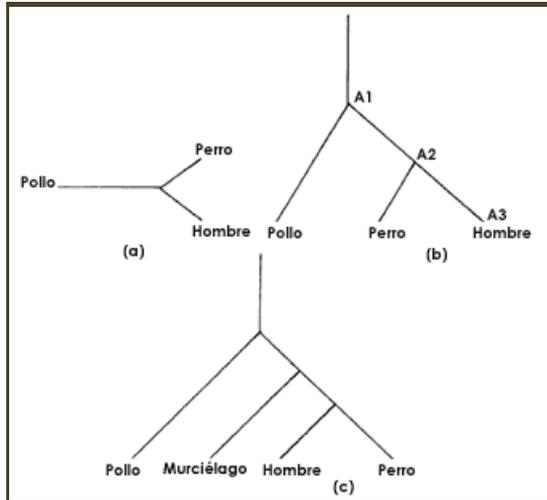


Figura 5.

Un ejemplo de la reconstrucción de la historia de las especies.

LA RECONSTRUCCIÓN DE LA HISTORIA DE LAS ESPECIES

Si hiciéramos una lista de las características que tres especies tienen en común (digamos un perro, un pollo y un hombre) podríamos hacer una lista como la siguiente:

	¿Pelo?	¿Ladra?	¿Alas?	¿Habla?	¿Nace de un huevo?
Perro	Sí	Sí	No	No	No
Pollo	No	No	Sí	No	Sí
Hombre	Sí	No	No	Sí	No

Ahora podemos describir qué tanto se parecen dos especies entre sí observando que mientras el hombre y el perro tienen tres de las cinco características en común (ambos tienen pelo, no tienen alas y no nacen de un huevo) el parecido entre el pollo y cualquiera de los otros dos se reduce a una sola característica (el pollo y el hombre no ladran mientras que el pollo y el perro no hablan). Si el perro y el hombre se parecen más entre sí que lo que se parecen al pollo, la figura 5 podría ser una buena representación de estas relaciones. Como ya hemos visto, ni el perro ni el pollo ni el hombre han existido siempre. Por tanto, si pudiéramos un eje de tiempo en nuestra clasificación obtendríamos el esquema que se presenta en la figura 5(b). De esta concepción temporal del parecido entre las especies se origina un concepto en la evolución: las especies se transforman unas en otras. Si antes ya vimos que las especies actuales no siempre han existido y que la mayoría de las que existieron en el pasado ya no existen en la actualidad, ahora propondremos: ¿cómo es que esto puede ser descrito? La figura 5(b) muestra una primera aproximación a este problema. La idea central en ella es que las especies que más se parecen en la actualidad son aquellas que se originaron de un ancestro más reciente (A2 en la figura 5 b), mientras que las que se parecen menos son aquellas que se originaron de un ancestro más antiguo (A1 en la figura 5 a).

Un análisis más detallado de este concepto nos ayudará a comprender mejor el mecanismo propuesto. Según nuestra información acerca de las características de las especies consideradas, en la rama que va de A2 al perro se desarrolló la capacidad de ladrar. La rama que va del ancestro A1 al A2 es quizá la más interesante. En ella se desarrolló la capacidad de no nacer de un huevo (ser vivíparo), tener pelo y poseer un método de locomoción terrestre sin alas. Por último, en la que va de A1 al pollo se originó la capacidad de volar y de tener plumas en el cuerpo.

¿Y EL MURCIÉLAGO?

Si quisiéramos clasificar al murciélago en la reconstrucción de la vida de estas pocas especies, analizaríamos cuáles de las características que usamos las tiene un murciélago. No tiene plumas ni nace de un huevo, y aunque sí tiene pelo, posee un método de locomoción con alas. Nuestro murciélago podría entonces quedar como se presenta en la figura 5(c). A pesar de que los eventos que ocurrieron entre el ancestro A1 y el A2 son iguales, ahora sabemos que la característica "volar" en nuestro esquema se ha desarrollado independientemente en la rama que va de A1 al pollo y en la que va de A3 al murciélago.

Al aumentar una especie más en nuestro esquema se detalla nuestro conocimiento de la historia de las especies y de las características que les son propias. El entendimiento de esta estructura depende, en principio, de la suposición de que las especies, tal como las conocemos hoy en día, tienen un origen común, el cual será más reciente cuanto más se parezcan las especies entre sí. La idea de que el árbol de la vida es la constante ramificación de ellas es central dentro del pensamiento evolutivo. Es a partir de todo esto que es posible proponer que la evolución ha ocurrido realmente.

LAS ESPECIES PUEDEN PARECERSE PORQUE VIVEN EN AMBIENTES SEMEJANTES

A veces la naturaleza ha hecho experimentos que nos ayudan a entender algunos aspectos de la evolución. Quisiera hablar de dos en particular. América no siempre ha sido un continente físicamente unido.

Originalmente América del Norte y América del Sur estaban separados. En ese entonces los mamíferos no eran tan abundantes como lo son ahora. De hecho eran los marsupiales (parientes de los canguros) los animales que más abundaban. Cuando los mamíferos empezaron a colonizar diferentes ambientes, entre ellos América del Sur, fueron desplazando poco a poco a los marsupiales, después de competir con ellos por los mismos recursos.

En otro lugar de la Tierra un fenómeno parecido estaba ocurriendo. Por la misma época en la que las dos Américas estaban separadas, Australia lo estaba de Asia. También allí predominaban los marsupiales. Cuando los mamíferos comenzaron a colonizar Asia, Australia se mantuvo separada de ella, lo que provocó que estos dos grupos de organismos nunca se pusieran en contacto como ocurrió en América. Es por eso que en la actualidad los marsupiales aún predominan en Australia. Ahora bien, cuando se comparan las faunas actuales de América del Sur (esencialmente mamíferos) y las de Australia (esencialmente marsupiales) encontramos un parecido extraordinario entre ellas. Esto se debe a que grupos distintos que utilizan recursos semejantes establecen parejas de especies que se parecen entre sí, ya que desempeñan actividades ecológicas muy parecidas (Figura 6).

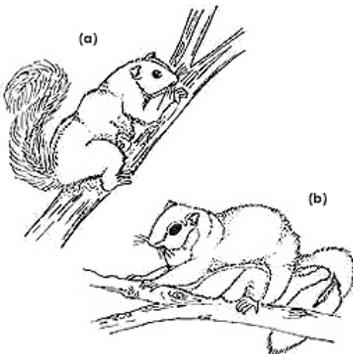


Figura 6.

Convergencia entre las ardillas marsupial (a) y placentaria (b).

Si reconstruyéramos la historia de estas especies con las características que las hacen parecerse por vivir en ambientes semejantes obtendríamos probablemente lo representado en la figura 7(a): las parejas de especies que se parecen entre sí incluyen a un marsupial y a un mamífero en cada caso. Pero sabemos que la verdadera historia debe ser como la que se presenta en la figura 7(b). Este ejemplo muestra cómo a veces las especies se parecen no porque tengan un origen común muy cercano sino porque ocupan el mismo lugar en la naturaleza, o lo que es lo mismo son semejantes porque desarrollan las mismas actividades. Por ejemplo, la ardilla arborícola (*Glaucomys*) y su similar marsupial (*Petaurus*; Figura 6) se parecen porque sus hábitos arborícolas las hacen tener un aspecto muy semejante. A este fenómeno se le ha llamado convergencia morfológica e implica que dos líneas filogenéticas pueden converger en su aspecto por vivir en ambientes muy parecidos. Es entonces importante distinguir que características de las especies son usadas para reconstruir su historia: aquellas que se parecen porque provienen de un aspecto común son las que nos interesan y son llamadas homólogas, mientras que aquellas que son semejantes porque llevan a cabo la misma función pero tienen orígenes diferentes se llaman análogas y no pueden ser usadas para reconstruir la historia de la especies ya que producen filogenias falsas como la de la figura 7(b).

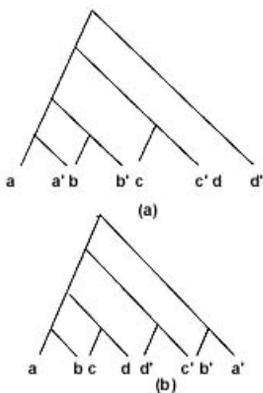
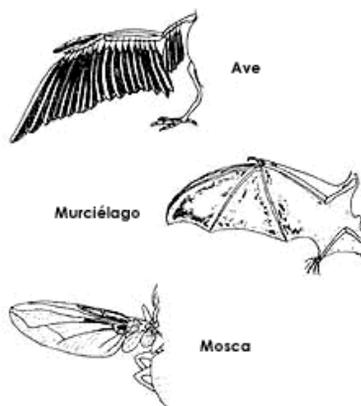


Figura 7.
La convergencia entre grupos de organismos puede conducir a filogenias falsas como la expresada en (a) que agruparía a las especies marsupiales (marcadas con apóstrofes) y placentarias de los mamíferos. En (b) se describe la filogenia correcta.

Hay características que se distinguen fácilmente como análogas. Tal es el caso de las alas de los insectos y las de las aves. La estructura de ambas tiene orígenes completamente diferentes. Una filogenia que usara la presencia de alas y se agrupara como parecidos a los insectos y a las aves sería una filogenia falsa. En otros casos, aun cuando las características no se parecen, son homólogas. Ejemplo de este fenómeno son las aletas de las ballenas y los delfines con respecto a nuestras piernas: aquéllas tienen el mismo origen que éstas aunque las primeras están modificadas para nadar (Figura 8). El mismo caso lo representan las alas de las aves y las patas de los caballos: son las mismas estructuras básicas pero modificadas para cumplir funciones distintas como son volar y correr.

Figura 8.

Las alas de un ave y un murciélago tienen origen común, las del insecto no.



Las especies pueden entonces parecerse por tener ancestros comunes recientes, o por vivir en lugares parecidos y tener estructuras que desempeñan funciones similares. El estudio de la evolución ha de ser cuidadoso, pues, en distinguir aquellas estructuras que se parecen porque son homólogas, y usarlas como base de una clasi-

cación de las especies que dependa del origen de las mismas y no de su función.

HAY DIFERENCIAS ENTRE INDIVIDUOS DE LA MISMA ESPECIE

¿Quién no se ha fijado que si observamos detenidamente a dos individuos de la misma especie, de inmediato encontramos que, aunque lo parezca de primera impresión, no son idénticos? Todos los individuos de la especie humana son diferentes entre sí. En algunos casos las diferencias incluyen muchas características (altura, color de la piel, complexión), en cambio en otros muy pocos detalles.

Para la teoría de la evolución, tal como fue concebida por Darwin, el hecho de que existan diferencias entre los individuos de la misma especie constituye uno de los argumentos más importantes. Si una especie de plantas tiene, digamos, flores rojas, el hecho de que existan algunas plantas con flores amarillas o blancas va a tener enormes consecuencias en el destino de la población.

LOS DOS CASOS DE LA FLOR BLANCA

En muchas plantas, el color de la flor tiene una gran importancia para que se pueda llevar a cabo la fertilización del óvulo por un grano de polen. Muchas plantas dependen para ello de la presencia de un agente que lleve el polen de una flor a otra. El viento y los animales son los agentes polinizadores más comúnmente mencionados, pero otros, como el agua, pueden ser tan importantes como aquéllos en este proceso. ¿Cómo? nos preguntaremos, ¿es que un grano de polen puede encontrar a un óvulo si es arrastrado sin dirección por el agua? La naturaleza tiene a veces caminos enredados

para enfrentar exitosamente este tipo de obstáculos y convertirlos en cómplices de la forma en que los animales y las plantas están en armonía con su ambiente.

Muchas plantas requieren para su sobrevivencia de este tipo de agentes polinizadores, ya que sin ellos no podrían tener hijos. Consideremos en particular el caso en el que las flores dependen de colibríes para que su polen sea acarreado. Estos animales visitan las flores para obtener néctar (una mezcla de gran valor alimenticio para ellos). Tienen picos delgados y largos con los cuales colectan el néctar. Al hacerlo, el polen de la flor se adhiere al pico que en otra flor se quedará en el estigma, la parte femenina de la flor, y lo fertilizará. Los colibríes tienen una clara preferencia por las flores de color rojo. Si encontramos una flor de, digamos, entre 2 y 15 cm de longitud, tubular o alargada, de color rojo y con néctar, podemos estar casi seguros que es una flor que es visitada y seguramente polinizada por colibríes. Otros aspectos nos pueden ayudar a completar esta información: la flor debe producir néctar de día, ya que los colibríes son animales diurnos. Si esto sucede así, casi podemos asegurar que nuestra suposición es correcta.

Consideremos ahora que, si el color rojo lo determina un pigmento llamado antocianina, podría ocurrir que alguna flor de las muchas que hay en una población no lo produzca por efecto de un cambio en la forma de hacerlo, y que por tanto la flor fuese blanca o albina (algo muy semejante ocurre en los hombres en los que algunos no tienen la capacidad de hacer melanina y son albinos). En nuestra flor el resultado de este cambio sería muy claro. Los colibríes no visitarían esta flor; no sería atractiva para ellos. Esta flor blanca no tendría descendencia ni como padre productor de polen ni como madre productora de óvulos. Las flores blancas, cuando existieran, no podrían tener descendencia y desaparecerían

de la población hasta que por otro accidente de la naturaleza se produjera otra flor blanca cuyo destino sería el mismo.

Imaginemos ahora otro orden de cosas. La flor blanca produce néctar no de día sino de noche. Hay dos grandes grupos de animales que visitan y a veces polinizan flores blancas o color crema. Estos son los murciélagos y las palomillas. Ambos visitan las flores de noche. Supongamos en este caso que son palomillas las que visitan y polinizan nuestras raras flores blancas. Pensemos además que las palomillas acarrearán el polen en forma más eficiente que los colibríes. En esta situación, si esperamos varias generaciones encontraremos que las flores blancas no sólo no desaparecen de la población, sino que contrariamente a lo que uno esperaría aumentan su densidad.

¿Qué tienen en común estas dos historias? En ambas existe una variante en una población: la flor blanca. La diferencia entre ambas historias consiste en que en un caso la presencia de la variante no cambia la estructura de la población que sigue teniendo sólo flores rojas. En el otro la población sí cambia, ya que al paso del tiempo habrá tanto flores blancas polinizadas por palomillas como flores rojas polinizadas por colibríes. Podemos, eso sí, asegurar que si la variante en este segundo caso no hubiera aparecido, la población seguro no habría cambiado.

El mensaje de esta historia consiste en que la presencia de individuos diferentes en una población precede a cualquier fenómeno que modifique la estructura de ésta, es decir, las cantidades relativas de las diferentes variantes en ella. Es entonces un requisito sin el cual las especies nunca cambiarían, serían inmutables.

Darwin consideró este aspecto del desarrollo de su teoría en el primer capítulo de su *El origen de las especies*. Él comprendió claramente la importancia de mostrar la existencia de variabilidad

dentro de las especies para su argumento contra la inmutabilidad de éstas. Es por ello que la evidencia primaria que eligió fue ésta.

¿CÓMO Y EN QUÉ VARÍAN LAS ESPECIES?

Desde que Darwin habló de variación hace más de un siglo y cuarto, muchos estudiosos de la naturaleza han dedicado sus esfuerzos a demostrar que existe variabilidad entre los individuos de una especie. Darwin se circunscribió a catalogar la variabilidad en especies que en una forma u otra son domesticadas, como fue el caso de las palomas que usó como ejemplo para describir la variación en el capítulo primero de *El origen de las especies*. En años posteriores se han estudiado una gran cantidad de especies silvestres en las que también se ha encontrado una gran cantidad de variación.

¿CONTAR O MEDIR?

Es muy fácil decir que un individuo es diferente de otro, que dos individuos no se parecen, pero no lo es tanto señalar en qué. ¿Cómo se mide entonces la similitud o la diferencia? Como veremos más adelante las características pueden ser contadas o medidas.

SI CONTAMOS

Cuando hablamos de similitud entre las especies construimos una tabla en la que preguntábamos si una especie tenía o no cierta característica. Los individuos pueden ser diferentes unos de otros usando este mismo criterio. ¿Tiene o no tiene?. Se dice entonces que empleamos caracteres discretos. En algunas especies existe variación entre los individuos precisamente en lo que se refiere a la

presencia o la ausencia de caracteres determinados. Tal es el caso de la palomilla *Biston betularia* que tiene dos variantes: grisáceo oscuro y blanquecino. En diferentes lugares el porcentaje de palomillas grisáceas es distinto. Hay lugares en Inglaterra donde hay muy pocas, mientras que en otros hay muchas.

SI MEDIMOS

La variación que debemos medir es sin duda la más común que podamos encontrar. La altura y en general el tamaño de los individuos es una característica que varía en cualquier especie que consideremos. En las plantas, por ejemplo, el tamaño de la hoja varía claramente de un individuo a otro. ¿Quién no ha notado que las plantas que crecen en ambientes más umbríos tienen en general hojas más grandes que aquellas de la misma especie que crecen en lugares donde hay más luz? Este fenómeno lo encontraremos tanto si comparamos el tamaño, como si lo hacemos con la forma o el color.

¿AMBIENTE O NATURALEZA?

"Es de naturaleza humilde", se dice de algunas personas. El mensaje que se quiere transmitir se refiere a que, sin importar lo que ocurra a su alrededor, la humildad de la persona en cuestión prevalecerá, es algo que lleva por dentro. En biología a esta naturaleza se le llama genotipo del individuo. Son las características que heredamos de nuestros padres y que expresamos independientemente del ambiente en el que crezcamos. Por tanto "tiene el genotipo de ojos azules" quiere decir exactamente lo mismo que la frase anterior, más popular, y significa que, con independencia del país en el que crezca o de lo que coma, esa persona tendrá los ojos azules.

No todos los caracteres son iguales. Muchos dependen para su expresión del fenotipo y del ambiente. Por ejemplo, se ha visto que la producción de leche en las vacas depende de un 80% de lo que la vaca come. Si lo hace en abundancia producirá mucha leche, si lo hace mal dará poca. De la misma manera la cantidad de frutos que un árbol produce depende en parte de la fertilidad de la tierra, de la cantidad de agua que tenga disponible y de la temperatura a la que crezca.

Estos pensamientos tienen un impacto directo en la idea de que existe variabilidad entre los individuos de una misma especie. ¿Son entonces las diferencias que encontramos debidas a la naturaleza (el genotipo) de los individuos o al ambiente en el que viven?

REGRESEMOS A LA FLOR ROJA

Supongamos, para hacer evidente la importancia de que la variación descrita por Darwin deba tener una base genotípica, que aquella flor blanca que producía néctar por la noche y que sería polinizada más eficientemente por una palomilla es un producto del ambiente y no del genotipo. La polinización por una palomilla podrá ser más eficientemente que aquella que los colibríes llevan a cabo en flores rojas, pero todas las semillas producidas por la flor blanca serán ... ¡rojas! La estructura de la población no cambió porque la variante que apareció en ella no hereda el carácter a su descendencia. Es entonces necesario no solamente que exista variación, sino que ésta sea genética.

DOS EXPERIMENTOS EN GENÉTICA

¿Cómo se puede demostrar que la variación que podemos ver en una población tiene una base genética? En párrafos anteriores vi-

mos que puede haber dos tipos de caracteres: aquellos que medimos y aquellos que contamos.

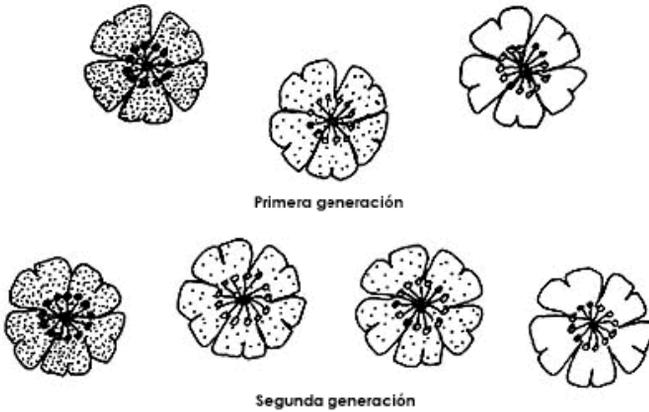


Figura 9.

Las leyes de Mendel predicen la forma en la que las características se heredan de una generación a la siguiente.

Por regla general los caracteres que contamos, o discretos, se comportan, en cuanto a la manera como se heredan, como caracteres mendelianos (Figura 9); esto es que su herencia puede ser explicada por medio del modelo que Mendel usó para explicar la herencia de los caracteres en los chícharos.

Por otro lado, los caracteres que medimos, o cuantitativos, tienen un comportamiento que generalmente no puede explicarse con el modelo usado por Mendel. La razón de ello es que mientras los caracteres mendelianos están determinados por la acción de un solo

gene, los cuantitativos son causados por la acción conjunta de varios genes. En este caso el experimento que hizo Mendel no daría los mismos resultados.

¿Cómo se puede saber entonces si un carácter cuantitativo tiene un componente genético? Supongamos que en diferentes familias medimos cierto carácter, digamos altura, tanto de los hijos como de los padres. Para cada una de las familias podemos tener el promedio de altura de los padres $(Xp+Xm)/2$, donde Xp es la altura del padre y Xm es la de la madre, y el promedio de las alturas de los hijos $(X1+X2)/2$, donde $X1$ y $X2$ son las alturas del primero y segundo hijos. Si ahora colocamos en una gráfica (Figura 10) estos valores, para cada familia existe la posibilidad de encontrar tres resultados diferentes.

El primero es que existe una asociación positiva entre la altura promedio de los padres y la de los hijos: padres altos tendrán hijos altos y viceversa. El segundo podría ser que la asociación sea negativa, de tal forma que padres altos tengan hijos chaparros y viceversa. Por último y tercero, que la altura de los hijos no tenga relación con la de los padres: padres altos podrían tener hijos a veces altos y a veces chaparros.

Mientras que en los dos primeros casos los padres serían determinantes en la altura de los hijos, y por tanto la altura tendrá un componente genético, en el último caso los padres no determinarían la altura de los hijos, por lo que un factor ambiental, como podría ser la alimentación, debe de ser la causa determinante.

Así, analizando la relación que hay entre las características de los padres y de los hijos podemos tener una idea de la importancia relativa que el ambiente y el genotipo tienen en la determinación de los caracteres cuantitativos.



Figura 10.

La altura en el hombre es una característica que se hereda en parte, como lo muestra esta gráfica. Los datos originales fueron obtenidos en 1889 por Francis Galton, quien era primo de Charles Darwin.

ENTONCES ¿CÓMO SABEMOS QUE HA HABIDO EVOLUCIÓN?

En esta primera parte hemos revisado los hechos que sugieren y apoyan la existencia de un fenómeno que modifica a las especies y que llamamos evolución biológica. Estos hechos se pueden dividir en dos: aquellos de naturaleza histórica y aquellos que observamos en las especies que viven en la actualidad. Dentro de lo que nos informan las especies que han vivido en nuestro planeta no han sido siempre las mismas, que han cambiado y que aquella naturale-

za que nosotros conocemos en la actualidad incluye una proporción muy pequeña de todas las especies que han existido. El no haber conocido un solo dinosaurio vivo apoya esta información si consideramos que este grupo dominó la Tierra durante decenas de millones de años. Dentro de los hechos que obtenemos de estudiar las especies actuales se incluyen aquellos que se basan en la comparación del aspecto y el desarrollo de las especies, y aquellos que tienen su base en la variación genética inherente a los sistemas biológicos. Estimamos que el parecido entre las especies puede ser o bien porque viven en ambientes similares, o bien porque están emparentadas y por tanto tienen un origen común.

Por último consideramos que una de las condiciones para que las especies cambien consiste en que exista variación y que ésta tenga un componente genético.

Estas tres rutas de hechos son las que apoyan con más fuerza la consideración de que las especies se generan unas de otras y que la adaptación al ambiente es una parte integral de este fenómeno.

LAS PARTES DE LA EVOLUCIÓN

Para entender un proceso, el científico normalmente lo divide en diferentes partes. Quisiera entonces dividir la evolución biológica en dos. El primer aspecto se refiere a la modificación que sufre la estructura de una población porque los individuos se adaptan al medio en el que viven. El segundo aspecto consiste en aquellos mecanismos que producen especies nuevas, diferentes de las anteriores.

Las siguientes dos partes de este libro analizarán cada uno de los aspectos mencionados: la adaptación y la especiación. Existen diferentes concepciones acerca de cómo se relacionan estos dos

procesos entre sí. Darwin, por ejemplo, consideró que la evolución es un fenómeno de adaptación al medio (Figura 11), es decir, su concepción no incluía mecanismos de generación de nuevas especies más que como una extensión del fenómeno de la adaptación. La adaptación a medios diferentes haría que con el tiempo dos poblaciones se hicieran cada vez más distintas hasta formar eventualmente dos especies. Esta concepción puramente adaptativa de la evolución fue transformada en lo que se ha llamado durante este siglo el neodarwinismo. Esto es, la inclusión del mecanismo mendeliano de herencia transformó al darwinismo en neodarwinismo.

Como veremos en el siguiente capítulo el neodarwinismo también incluye mecanismos que, como una extensión de la adaptación, genera especies diferentes (Figura 11(e)). Una visión alternativa de estos conceptos podría ser que ambos aspectos de la evolución son independientes uno del otro, que la forma en la que las plantas y los animales se adaptan a su ambiente no está relacionada con aquella que determina si aparecen o no especies nuevas (Figura 11(c)). Otras concepciones posibles consisten en alternativas que no ha seguido hasta ahora ninguna escuela de investigación e incluyen las que conciben a la evolución como un fenómeno de generación de especies que no están adaptadas a su ambiente (Figura 11(b)) y aquellas que conciben a la especiación como un fenómeno previo a la adaptación, es decir, que las especies una vez originadas se adaptan a su ambiente (Figura 11(d)).

Y... ¿POR DÓNDE EMPEZAMOS?

Para entender la adaptación y la especiación podríamos seguir cualquiera de las concepciones mencionadas. Podríamos estudiar primero la especiación y luego la adaptación o viceversa o estudiarlas juntas. Pero quizá la manera más útil de hacerlo sea aquella que

sigue la forma como se ha generado el conocimiento, esto es, rehaciendo históricamente los descubrimientos. En el caso de la evolución, el mecanismo propuesto por Darwin, que plantea que los organismos se adaptan a su ambiente por medio de la selección natural, fue el primer gran cambio en la concepción del proceso evolutivo. Por lo tanto estudiaremos primero el fenómeno y los mecanismos de adaptación y posteriormente los relacionados con el fenómeno de la especiación.

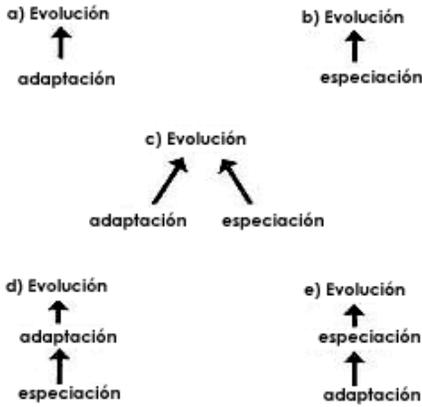


Figura 11.

La evolución puede ser concebida de varias maneras. Para Darwin era resultado de la adaptación (a) y en la actualidad se considera que la especiación es un producto de la adaptación (b). Otra alternativa propone que la adaptación y la especiación son fenómenos desacoplados (c).

ADAPTACIÓN

El concepto de adaptación puede tener varios significados. En este libro lo definiremos como el acoplamiento de un organismo a su medio ambiente.

No hay mejor prueba de que las especies están adaptadas a su ambiente que el hecho de que siempre que pensamos en algún organismo lo relacionamos a un ambiente en particular. Así, por ejemplo, a las ballenas las asociamos al mar, a los nopales al desierto, a los pingüinos a ambientes muy fríos y a las esponjas al fondo del mar.

Sabemos, por otra parte, que las abejas colectan polen en estructuras especiales que tienen en sus patas, que el ojo es un sensor ambiental muy especializado que se atrofia en animales que viven en ambientes sin luz, como le sucedió a los topos. También tenemos claro que las alas son estructuras que se usan para volar y que las aletas controlan el movimiento de los peces en el agua. La relación de estas estructuras con respecto a la función que desempeñan es una prueba de que los organismos están adaptados al lugar en el que viven.

UNA TEORÍA, CINCO HISTORIAS ADAPTATIVAS Y OTRA TEORÍA

La primera teoría. El estudio de la adaptación ha consistido en entender ejemplos específicos de cómo los organismos sobreviven en su medio natural. Existe sin embargo una condición sin la cual el concepto de adaptación no tiene ningún significado. Esta es la idea de que las poblaciones se reproducen a una velocidad mayor que los recursos alimenticios de los que dependen. Darwin tomó esta idea de los trabajos de T. Malthus acerca de la población humana. Malthus argumentaba que mientras la población humana crecía en una proporción geométrica (por ejemplo de dos individuos se producen cuatro, luego de éstos, ocho de ellos, dieciséis y así sucesivamente) los alimentos sólo crecen en progresión aritmética (la producción en generaciones sucesivas es 2, 3, 4, etc.). Esto significa que irremediablemente llegará un día que existirá escasez

de recursos y por tanto una alta mortandad de aquellos individuos que no alcancen a obtenerlos en suficiente cantidad. Darwin razonó que si este fenómeno (la sobreproducción) es universal y se aplica a todas las especies, no todos los individuos que nacen sobrevivirían. Darwin propuso, además, que los individuos que murieran serían aquellos que por sus características estuvieran en desventaja respecto de otros de la misma especie (por ejemplo, las águilas que son más lentas para obtener una presa morirían más frecuentemente que aquellas que lo hacen con mayor eficiencia). Este principio que combina la idea de la mortalidad por escasez de recursos y la que propone que sólo los individuos mejor adaptados sobrevivirán se llama selección natural y es el mecanismo que propuso Darwin para explicar la adaptación de los organismos a su ambiente. Es, sin duda, el concepto más importante de la teoría de Darwin.

LA HISTORIA DE LA MALARIA Y LA ANEMIA

El primer ejemplo que voy a usar para ayudarlos a comprender la adaptación por selección natural es ya un ejemplo clásico en los estudios de la evolución y consiste en lo siguiente:

Una de las tribus bantú de África vivió por mucho tiempo en la parte este del continente. Hace tiempo, esta tribu emigró hacia las grandes planicies del centro de África. Como ocurre en la mayoría de los casos, la migración de una población de un lugar en el que está adaptada a otro distinto trae como consecuencia que los individuos se enfrenten a un medio al que no están tan bien adaptados. Para los bantú no fue diferente. Encontraron que en su nuevo ambiente había malaria, enfermedad desconocida en el lugar del que venían.

Es seguro que la mortalidad por malaria (en la que un parásito de los glóbulos rojos de nuestra sangre produce la muerte) fue muy

alta en las primeras generaciones, pero curiosamente un día alguien empezó a notar que algunos individuos eran resistentes a la enfermedad. Al mismo tiempo que esto sucedía apareció otra característica en la población: un tipo de anemia que también producía la muerte y que ahora se llama anemia falciforme. En esta enfermedad los glóbulos rojos de la sangre en vez de ser redondeados tienen forma de media luna, y por tanto fijan oxígeno con menor eficiencia que lo que lo hacen los glóbulos normales redondeados. A causa de esto el metabolismo y la energía disponibles para el organismo son menores que lo normal y el individuo, después de sufrir por un tiempo la anemia, muere. El porcentaje de individuos con esta enfermedad que llega a reproducirse es tan sólo del 20 por ciento.

¿QUÉ HACE A UN INDIVIDUO ANÉMICO?

El análisis de los hijos del 20% de los individuos anémicos que sí se reproducen nos enseñó la forma en la que esta enfermedad se hereda. En un grupo de familias se observó que todos los hijos de un matrimonio eran anémicos además de serlo, por supuesto, ambos cónyuges. Cuando sólo uno de los cónyuges era anémico y el otro no, había dos tipos de familias: aquellas en las que ningún hijo era anémico y aquellas en las que la mitad de los hijos lo era y la otra mitad no. Estos resultados muestran un mecanismo mendeliano de herencia con un gene, el que produce la anemia, que no se expresa en presencia del gene normal. Se dice entonces que el gene de la anemia es recesivo. Si llamamos al gene de la anemia S y al normal A, los individuos con anemia que recibieron el de su papá y de su mamá serán SS. Los que no la tienen podrían ser AS, en donde el gene S no se expresa porque es recesivo, o AA, que no tienen el gene de la anemia. Este mecanismo de herencia explica los resultados que se observaron en los distintos matrimonios ya que si por

ejemplo un anémico SS se casa con un sano AS la mitad de los hijos tendrán anemia y la otra mitad no, dado que serán AS. Si por otro lado el anémico se casa con un sano AA ninguno de los hijos tendrá puesto que todos serán AS.

¿POR QUÉ ES BUENO EN ÁFRICA SER ANÉMICO?

Pero... ¿qué relación hay entre la anemia y la malaria? Ya vimos que aquellos individuos que tienen los dos genes SS tendrán anemia y muy probablemente morirán. Sin embargo, aquellos que logran sobrevivir son resistentes a la malaria: el parásito no puede invadir los glóbulos rojos que no son redondeados. Por otro lado, los individuos que tienen ambos genes A no son anémicos, pero son sensibles al parásito de la malaria. Imaginemos ahora que en una población hay cinco individuos anémicos (SS) y cinco individuos normales (AA). De los cinco anémicos sólo uno sobrevivirá y formará una familia con un individuo normal (AA). Consecuentemente todos los hijos de este matrimonio serán AS. Si los demás individuos normales se casan entre sí, todos sus hijos serán AA también. Supongamos además que cada pareja tiene dos hijos. La población en la siguiente generación estará compuesta por dos individuos AS y ocho AA. Si hay malaria en el área, estos últimos morirán por la enfermedad y la población quedará reducida a aquellos individuos resistentes a la malaria y sin anemia. Estos son los que tienen los genes AS, ya que por un lado no tienen anemia porque no son SS y por otro no tienen los glóbulos rojos redondeados y por ello son resistentes al parásito de la malaria. La siguiente generación estará formada por tanto por una pareja AS-AS que si tienen cuatro hijos dos serán AS, uno AA y el otro SS muy probablemente. Otra vez los individuos AA morirán de malaria y el individuo SS lo más seguro es que muera de anemia y quedarán otra vez sólo individuos AS.

¿Qué podemos sacar en conclusión de este análisis? Primeramente que la adaptación de un individuo depende a veces tanto de sus genes como del ambiente en el que vive: un individuo normal (AA) sobrevive perfectamente en ambientes donde no hay malaria. La segunda conclusión es que en otros casos la adaptación no depende del ambiente: los individuos anémicos (SS) estarán enfermos en cualquier ambiente. Por último, en un ambiente donde hay malaria, la población tendrá una "carga" de individuos poco adaptados (AA y SS) que serán producto de los matrimonios entre los mejor adaptados (AS). Es decir, curiosamente nunca se eliminará de la población a los individuos menos adaptados mientras la malaria no sea eliminada. Por supuesto, no siempre una población estará compuesta solamente por individuos adaptados, a veces la misma estructura de la población y el ambiente en el que vive permite la existencia de individuos menos adaptados.

LA HISTORIA DE LA PALOMILLA

El segundo ejemplo que les quiero narrar se refiere a la historia de cómo una palomilla (técnicamente llamada *Biston betularia*) se adaptó a un ambiente contaminado. Durante la revolución industrial de hace poco más de cien años ocurrió otra gran revolución en el medio ambiente: las fábricas empezaron a llenar el aire de humo y poco a poco se fueron depositando por todas partes. Generalmente la palomilla que nos ocupa (de hábitos nocturnos) pasa el día inmóvil sobre los troncos de los árboles (especialmente en los del abedul). Estos troncos, que eran blancos antes de la revolución industrial, se contaminaron y oscurecieron. Asimismo las palomillas más comunes antes de la revolución industrial eran claras pero, sorprendentemente, con el paso del tiempo las palomillas oscuras se convirtieron en las más abundantes; ¿qué ocurrió?

Para entender la dinámica de una población es necesario conocer su historia natural. Es decir, es importante entender como nacen los individuos, quiénes son sus enemigos naturales (parásitos, depredadores y competidores) y qué interacciones tienen con otras especies para su sobrevivencia (el caso de la polinización del que ya hablamos es un ejemplo de esto). En el caso de la palomilla, la comprensión de su historia natural ayudó a entender el proceso de cambio en la composición de su población. Hay varias especies de aves que de día depredan a las palomillas que están en los troncos de los árboles. Lo que había estado ocurriendo era que con la contaminación los troncos de los árboles se habían oscurecido y las palomillas claras, que antes se confundían con el tronco claro, ahora eran muy visibles a las aves que las depredan y por ello morían con mayor frecuencia que aquellas que al ser oscuras se confundían con los troncos contaminados y eran difíciles de ver.

El proceso de contaminación no afectó a todos los ambientes donde vivían las palomillas, de tal manera que mientras en las zonas industrializadas predominaban las palomillas oscuras, en las no industrializadas aún predominaban las claras. Este hecho nos enseña que si encontramos diferencias en la estructura de la población en distintos lugares geográficos, esto se puede deber a que, siendo diferentes los climas y en general el ambiente, los organismos están adaptados a cada uno de ellos en particular. Es por esto que la presencia de variación entre poblaciones que vivan en diferentes lugares se usa como evidencia de que la evolución existe.

Como ya vimos, no es suficiente con mostrar que las diferentes variantes tienen una distinta probabilidad de reproducirse y/o morir. Tenemos también que demostrar que existe un componente genético en la variación observada, es decir que el color de la palomilla se hereda de padres a hijos. En el caso de *Biston betularia* se han llevado a cabo cruzamientos entre palomillas claras y oscu-

ras y se ha visto que el color claro lo confiere el gene D, mientras que el oscuro lo da la combinación de dos genes R. Como en el ejemplo anterior, el gene R no se expresa en presencia del D, de tal manera que los individuos que heredan un gene D de su padre y uno R de su madre son claros. El gene R es recesivo y el D dominante.

Así pudimos demostrar que la población de palomillas se adapta a su ambiente y que el mecanismo por el cual lo hace (selección natural por contribución diferencial) hace que la estructura de la población cambie de una generación a la otra, ya que hay un componente genético en la característica que varía. Esto es en esencia la teoría de la selección natural tal y como es propuesta en la actualidad. Darwin la concibió en forma parecida pero sin conocer el mecanismo de herencia de los caracteres que son seleccionados.

El fenómeno que acabamos de describir es un fenómeno general al menos en las Islas Británicas donde de un total de 800 especies de polillas que hay, 100 estuvieron sujetas a la selección llevada a cabo por la contaminación ambiental.

LA HISTORIA DE LOS CONEJOS EUROPEOS EN AUSTRALIA

Como ya vimos en la primera parte, Australia, por estar separada de Asia y haberlo estado por mucho tiempo tiene animales muy diferentes de los que, por ejemplo, tiene América del Sur, a pesar de que ambas tengan el mismo origen geológico. Mientras en Australia predominan los canguros y sus parientes los marsupiales, en América sobresalen nuestros parientes los mamíferos.

Ahora bien en Australia no había conejos; el hombre europeo hace algunos años, introdujo algunas parejas. De esta migración inicial la población de conejos empezó a crecer hasta que finalmen-

te se convirtió en una peste. Una historia similar puede contarse de muchas de las llamadas "malas hierbas" en todas partes del mundo. Muchas plantas, que son malas hierbas en México, son traídas de otros lugares en donde no son consideradas como tales. Darwin tomó de Malthus la idea de que las poblaciones están reguladas o controladas en su crecimiento por diversos factores. Se conoce que muchas poblaciones de insectos son controladas por aspectos climáticos, como la temperatura o la cantidad de lluvia, mientras que otras son reguladas por sus enemigos naturales. Si, por ejemplo, una población de insectos crece demasiado a causa del clima, las ranas que comen mosquitos la mantendrán en densidades bajas consumiéndolos.

Regresando ahora a nuestro ejemplo de los conejos, podemos explicar el aumento desmedido de ellos en Australia: al haber sido llevados a un lugar donde ya no existían los factores que los controlaban, se reprodujeron desproporcionadamente. Pero, ¿están entonces los conejos adaptados en ambos ambientes? Definitivamente sí. Los conejos están adaptados tanto en Australia, donde crecieron mucho, como en su tierra natal, donde su densidad es siempre más baja. De este ejemplo podemos concluir que el estar adaptado no quiere decir que la población tenga el mayor número posible de individuos, sino en contender con el ambiente de tal manera que la población no se extinga de ese particular medio ambiente. Los conejos están adaptados a sus enemigos naturales y de esa adaptación depende su densidad.

Pero... ¿quiénes son los enemigos naturales de los conejos? Son varios. Uno de los más importantes es el virus de la mixomatosis. Este virus normalmente mata a los conejos que ataca. Así, después de que los conejos se hicieron una peste en Australia, se introdujo una cepa virulenta del virus que inmediatamente empezó a causar una gran mortandad entre ellos. Aun así, éstos no desaparecieron

de Australia, aunque la población se mantuvo en densidades muy bajas.

Estos hechos refuerzan nuestra conclusión de que los conejos están adaptados al virus, puesto que aunque la enfermedad causa mucha mortalidad no extingue completamente a la población. Desde el punto de vista de los virus el problema también es muy interesante: aquellos muy virulentos se reproducían menos que los que lo eran en menor proporción. Esto se debía a que mataban muy rápidamente a los conejos y dejaban menos descendencia: eran transmitidos por los mosquitos con menor frecuencia. Por tanto, de la población de virus se seleccionó a aquellos que a la larga no extinguían a la población de conejos, o lo que es lo mismo, a los menos virulentos. De hecho todos los depredadores y los parásitos están enfrentados en su adaptación al ambiente a dos alternativas: por un lado deben de adaptarse en su eficiencia para atacar o explotar a su presa u hospedero, puesto que ellos son su recurso de sobrevivencia, y por otro, a no especializarse demasiado, ya que si son muy eficientes en su depredación o infección acabarán por extinguirlo.

Esta concepción de adaptación al medio no es exactamente la "sobrevivencia del más apto" como diría Darwin, sino la sobrevivencia del "suficientemente apto" que no acaba con su recurso. Así pues, y como conclusión, el más apto en nuestro ejemplo no será jamás el que atrape más eficientemente a las presas.

EL ARTE DE PARECERSE A OTROS: EL MIMETISMO

¿Quién no ha conocido a una persona que cambia su personalidad estando con otros? Ésta se parece a sus interlocutores en su forma de pensar y actuar en pocos minutos. La utilidad de esta conducta puede ser muy debatida entre los seres humanos, pero en la natura-

leza este fenómeno es uno de los ejemplos más bellos de cómo los organismos se adaptan a su ambiente. (Figura 12).

¿Qué ventaja puede tener el parecerse a otros? Existen especies de mariposas que se parecen entre sí de tal manera que llegan a ser casi indistinguibles. Este fenómeno ya lo describimos cuando mencionamos que las especies emparentadas se parecen.

La diferencia entre parecerse por tener ancestros comunes recientes y el mimetismo es que en éste las especies no están tan emparentadas, es decir que pertenecen a grupos diferentes. Hay varias razones por las que es ventajoso parecerse a otra especie. El mimetismo, en el cual la ventaja parece ser más clara, incluye dos especies: una que actúa como modelo y otra como mimético. El sistema mejor conocido de mimetismo es el que se presenta entre dos especies de mariposas: una de ellas, el modelo, es tóxica para las aves que podrían depredarlas; la otra, el mimético, no lo es, pero al parecerse a la primera los depredadores ya no la atacan porque la confunden con la especie que es tóxica. La ventaja de este tipo de adaptación es entonces que la mariposa mimética, que normalmente sería comida por los depredadores, en un ambiente donde los modelos son más comunes es mucho menos depredada.

Puede también ser ventajoso parecerse a otra especie no sólo porque ésta sea tóxica sino por presentar otro tipo de peligrosidad. Por ejemplo, hay moscas que se parecen a las avispas, a pesar de pertenecer a grupos de insectos muy diferentes. Otro ejemplo de mimetismo que ha maravillado al hombre es aquel que involucra el parecerse a otra especie para parasitarla. Este fenómeno es más o menos común en los pájaros cucos o cuclillos que ponen huevos que se parecen mucho (aunque son un poco más grandes normalmente) a otros puestos por otras especies de aves.

Este fenómeno facilita el comportamiento de los cucos estos ponen huevos en los nidos de otras especies de tal manera que la crianza de sus polluelos sea realizada por una madre de un especie ¡completamente diferente! El ejemplo más ilustrativo de este fenómeno lo muestra la especie africana de cuco *Chrysococcyx caprius*, que tiene poblaciones que ponen huevos muy parecidos al gorrión *Eupletes oryx* de color azul-verdoso. Estos cucos en otras poblaciones, los ponen muy parecidos a los de otro gorrión el *Ploceus velatos*: moteados sobre fondo blanco. En este caso, como en los que vimos antes, la adaptación depende del ambiente en el que vive el organismo: los huevos de color azul-verdoso no serían adaptativos en lugares donde existe el gorrión con huevos moteados.

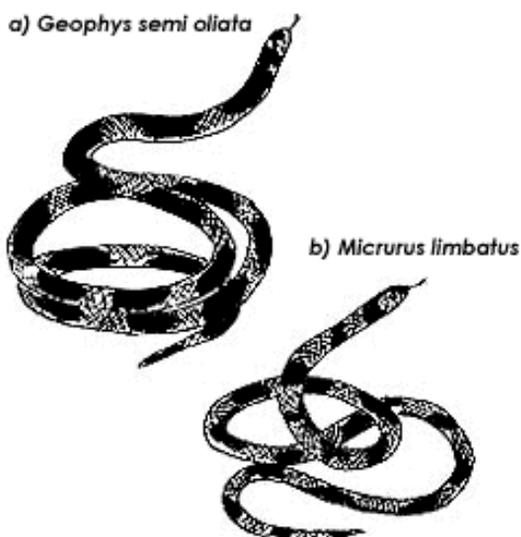


Figura 12.

El mimetismo es un mecanismo de adaptación muy frecuente. La serpiente *Geophys semi oliata* que no es venenosa, es casi indistinguible de una coralillo (*Micrurus limbatus*) (b).

El parasitismo de los cucos es todavía más dramático cuando los polluelos eclosionan. Por ejemplo, en el cuclillo *Cuculus canorus* el polluelo eclosiona aproximadamente dos días antes que los de sus padres "adoptivos". Así el pequeño cuclillo durante los cuatro primeros días se dedica a echar del nido los huevos de la especie hospedera en una forma de lo más grosera. Una vez solo, el intruso recibe toda la comida que sus padres adoptivos traen al nido. Si el polluelo no tuviera esta actitud tan mal educada, probablemente la comida no alcanzaría, ya que, cuando este llega a adulto es incluso más grande que sus padres adoptivos.

¿Qué ventajas les representa a los padres del cuclillo el ir dejando a sus pequeños por todos lados? Ya vimos que el cuidado de ellos está asegurado por su conducta con los otros huevos del nido, que son expulsados. Los padres se "liberan" así del compromiso y el gasto que representa el cuidado de sus polluelos aumentando la cantidad de hijos que una pareja puede tener y por lo tanto su adaptación. Este tipo de mimetismo es uno de los ejemplos más bellos de adaptación de los organismos al medio ambiente.

A VECES LA ADAPTACIÓN PUEDE NO SER TAN APARENTE

Cuando vemos dos palomillas, una clara y otra oscura, o cuando comparamos los huevos del cuclillo con los de su hospedero, el fenómeno de adaptación es muy claro. Sin embargo los organismos tienen adaptaciones que involucran caracteres que no siempre podemos ver a simple vista. Ejemplo de ellos son las plantas que se adaptan a condiciones de poca iluminación en ambientes como el suelo de un bosque o una selva, o aquellos que lo hacen a lugares con mucha luz. En muchos de estos casos la apariencia de la hoja es muy similar, pero no es necesariamente la forma o el tamaño de éstas lo que los hace estar adaptados a diferentes niveles de luz,

sino los mecanismos fisiológicos encargados de llevar a cabo la fotosíntesis

Este último ejemplo se refiere a la adaptación fisiológica que tienen que hacer algunas plantas a diferentes niveles de contaminación del ambiente. En estos casos el aspecto de las hojas, las flores y las raíces no difiere entre aquellos individuos adaptados a condiciones contaminadas y aquellos que no lo están. Aun así, cuando se colocan diferentes individuos en tierra con diversos grados de contaminación se puede ver que el crecimiento de plantas que provienen de lugares contaminados es mayor en tierras con metales pesados que el de plantas que provienen de lugares no contaminados. Esto nos indica claramente que aquellas ya han logrado adaptarse fisiológicamente al ambiente son capaces de soportar la toxicidad de los metales pesados, de crecer y reproducirse.

Este fenómeno se ha descrito en una gran cantidad de especies de plantas, la mayoría de ellas del grupo de los pastos (gramíneas). Los biólogos empezaron a darse cuenta de él al observar que en algunos lugares donde se empezaba a trabajar una mina y que por tanto había por ejemplo, una alta concentración de zinc o cobre sólo algunas especies podían crecer. Analizando plantas de la misma especie que crecían en áreas no contaminadas observaron que su crecimiento se veía disminuido si las transplantaban a áreas con altas concentraciones de metales pesados. De hecho el fenómeno de adaptación al medio puede llegar a ser muy rápido: el cambio casi completo de palomillas claras a oscuras no llevó más de 100 años, y el de las plantas que acabamos de ver unos 50.

LA ADAPTACIÓN BAJO UNA LUPA

En los ejemplo que hemos visto hasta ahora la adaptación es un fenómeno muy bien definido. La existencia de un carácter en una

población (el color de la palomilla o la resistencia a altas concentraciones de metales pesados en pastos) puede ser explicado por razones ambientales. La tendencia natural después de encontrar un fenómeno consiste en generalizar. Pensar en por qué existen personas con el pelo oscuro o los ojos claros, o por qué los árboles son de una manera o de otra. Muchas personas se han preguntado, por ejemplo, ¿para qué sirve el lóbulo de la oreja? ¿Me sirve para sobrevivir o adaptarme mejor? La respuesta en este caso parece ser un rotundo no. No lo es ni siquiera porque allí se cuelguen los aretes.

Así pues de las diferentes características que existen en los organismos algunas son claramente adaptaciones al ambiente, mientras que otras, como el lóbulo de la oreja, parecen existir por razones más oscuras. Hay todavía un tercer grupo de características que a primera vista no es obvio que lo sean como tampoco que no lo sean. ¿Por qué hay rosas de tantos colores?, ¿están adaptadas a ambientes diferentes como las palomillas? ¿Por qué hay chiles largos, anchos, chiquititos? ¿Son adaptaciones? ¿Cómo hacer entonces para entender qué tan generalizado está este fenómeno?

LA CIENCIA AVANZA PASO A PASITO

Cuando descubrimos un fenómeno, como en nuestro caso la adaptación, quisiéramos entenderlo lo mejor posible en todas sus facetas. Un científico entiende a la naturaleza basándose en aproximaciones a la realidad. La observación de que la frecuencia de palomillas oscuras aumentaba llevó a la sugerencia de que si éstas descansan de día en el tronco de los árboles, debe de haber un factor que mata más frecuentemente a las oscuras que a las claras en un tronco claro. La existencia de aves, depredadores diurnos, llevó

entonces a contabilizar la sobrevivencia de palomillas en ambientes contaminados y sin contaminación.

Todo este proceso se puede resumir en tres palabras: *OBSERVACIÓN- MODELO- EXPERIMENTO*. Es decir, de una observación el científico se forma una idea de cómo puede ser la realidad; a partir de ella crea un modelo y con él predice qué otros aspectos debe de tener para llegar a ser un modelo lo más fiel posible. Para esto se hacen posteriormente experimentos que ayuden a entender si esas son o no ciertas. En caso que no lo sean puede suponerse que el modelo esté mal y por tanto debe modificarse repitiendo una vez más el proceso de análisis. Para entender más cosas acerca de la adaptación vamos a seguir este procedimiento. Regresemos una vez más a nuestro ejemplo de melanismo industrial con la polilla *Biston betularia*. Recordemos que la observación original consistió en que las polillas de color oscuro aumentaban en relación a las claras. ¿Qué fenómenos pueden estar produciendo este efecto? Existen cinco cuando menos. Veamos.

LAS PALOMILLAS INTRUSAS

Muchas veces la frecuencia de una variante en una población se debe a que hay inmigración de individuos de una donde predomina un tipo de individuo a otra donde predomina uno distinto.

En poblaciones humanas estos eventos han existido y existen, de hecho, en todos los países. La influencia en Europa de las culturas asiáticas se observa muy claramente si analizamos el parecido entre europeos de diferentes áreas y asiáticos: los europeos orientales son mucho más parecidos a los asiáticos que los occidentales, no solamente en el aspecto físico sino también en el tipo de sangre: la frecuencia del tipo de sangre B en Europa oriental es más pare-

cida a la que existe en Asia que a la que encontramos en Europa Occidental.

Así una migración de palomillas oscuras de otras poblaciones podría explicar el aumento en la frecuencia de ellas. Lo más probable entonces es que encontremos en zonas cercanas poblaciones con una alta frecuencia de palomillas oscuras.

ME GUSTAS PORQUE ERES COMO YO

Ya vimos que el gene que determina el color claro de las palomillas domina sobre aquél que determina el color oscuro. Es necesario recibir el gene oscuro de ambos padres para expresar el color oscuro. Supongamos ahora que existen diez palomillas en una población. De ellas dos son oscuras (RR) y ocho son claras con un gene claro y uno oscuro (DR). Si en esta población la formación de parejas depende del aspecto, las palomillas oscuras buscarán a las oscuras y las claras se aparearán sólo con claras. Después de una generación en la que cada pareja tiene dos palomillas la estructura de la población será como sigue: de la cruce de las dos palomillas oscuras se producirán dos oscuras, y de las cuatro cruces entre dos palomillas claras se producirán dos claras con dos genes claros (DD), cuatro claras con un gene claro y otro oscuro (DR) y dos oscuras (RR). En esta generación entonces ya no hay dos palomillas oscuras como en la primera generación sino que habrá ¡cuatro! De hecho si continuamos este proceso en el que las palomillas oscuras se cruzan con oscuras y las claras con claras, en algunas generaciones (aproximadamente de seis a ocho) habrá seis palomillas oscuras y cuatro claras. Por tanto, la proporción de palomillas oscuras puede aumentar no sólo porque estén inmigrando de otras partes o porque estén muriendo menos que las claras sino porque el patrón de apareamiento puede cambiar y rearrreglar los genes de los

individuos. Pero ¿Por qué suponemos que las palomillas oscuras se aparean sólo con las oscuras? En principio podrían ser dos las razones. La primera consiste en que visualmente las palomillas prefieren a aquellas que se les parecen. La segunda sería que las palomillas se cruzan entre parientes: los hijos crecen cerca de sus padres o hermanos y entonces se cruzarían con las parecidas no porque las elijan sino porque están más cerca. Este fenómeno, el aumento en la frecuencia de un carácter determinado por genes que no son dominantes, ha ocurrido también frecuentemente en familias reales (que se casan entre parientes), lo que ha provocado que enfermedades cuyos genes están "escondidos" en individuos que tienen un gene que domina y otro que no, se expresen. Tal es el caso de la hemofilia en la familia real inglesa, por ejemplo.

LA TORMENTA QUE NO MATÓ A DOS PALOMILLAS OSCURAS.

En líneas anteriores vimos cómo las aves que comen palomillas eligen a aquellas que son más aparentes en el ambiente en el que viven. Podría claramente haber factores que las maten que no distingan entre si son claras u oscuras. Si en un árbol, por ejemplo, están descansando diez palomillas, cinco claras y cinco oscuras, y durante una fortísima tormenta cae un rayo, todas podrían morir o quizá ninguna. Las palomillas estarían como jugando una ruleta rusa. Supongamos la posibilidad de que sólo dos de las oscuras sobreviven al rayo (este hecho puede ocurrir en una de cuatro ocasiones). Esto provocaría que en la siguiente generación todas las palomillas fueran oscuras. La frecuencia de éstas por tanto habrá aumentado como en el caso en el que había selección natural por las aves, pero no porque un factor esté seleccionando a las palomillas oscuras sino ¡sólo por suerte! Por supuesto este efecto cambiará dependiendo de si hay más o menos palomillas: es más probable que sólo queden oscuras cuando mueren más que cuando mueren

menos. Si, por ejemplo, mueren nueve de cada diez y hay diez en un árbol, la probabilidad de que quede una oscura es una en cinco. El número de palomillas que sobreviven determina entonces la probabilidad de que un fenotipo se haga más frecuente por factores de mortalidad que no son selectivos.

Por lo tanto podría darse el caso que el aumento en la frecuencia de palomillas oscuras se deba, no a una depredación selectiva por parte de las aves, sino a un factor de mortalidad que es independiente del color de la palomilla, el cual, por razones de suerte, dejó sobrevivir solamente a las oscuras.

LO QUE ME HEREDÓ MI PAPÁ NO ES LO QUE SOY

Por último podríamos tener el caso de que una palomilla nació clara y algo del ambiente la convirtió en oscura. Por ejemplo, se sabe que la contaminación ambiental provoca en los individuos cambios genéticos que no fueron heredados de sus padres. A estos cambios se les llama mutaciones. A partir de esto podríamos perfectamente proponer que los cambios en la población de palomillas fueron producidos por un factor ambiental, esto es, por mutaciones genéticas que no heredaron, que hizo que las que antes eran claras ahora se volvieran oscuras. Esto también podría explicar el aumento observado de palomillas oscuras.

Y EN CONCLUSIÓN

Hay entonces cinco maneras diferentes en las que la frecuencia de palomillas oscuras puede haber aumentado. Ya vimos que una de ellas (aquella en la que la coloración protege a las palomillas de ser comidas por las aves) representa un fenómeno de adaptación al

medio ambiente, y que los demás, por razones no adaptativas y en algunos casos hasta accidentales, podrían incrementar su frecuencia. Por tanto, las palomillas están adaptadas a su ambiente, pero no todos los caracteres deben su presencia en una población a fenómenos de adaptación al medio.

Para distinguir entre las diferentes alternativas se deben de llevar a cabo tanto experimentos en el campo, como observaciones en condiciones naturales. Podríamos por ejemplo ver cuál es el patrón de apareamiento en la población de palomillas, o analizar que tanta migración hay entre las poblaciones. De hecho cada una de las causas puede ser analizada para evaluar su importancia relativa en el aumento de las palomillas oscuras en la población.

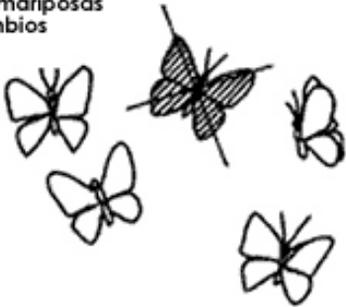
¿DE DÓNDE VINO LA PRIMERA PALOMILLA OSCURA?

Regresemos momentáneamente a un asunto crítico de nuestra historia para que las aves pudieran elegir entre las palomillas tendría que haber habido claras y oscuras. Antes de la revolución industrial los troncos de los árboles eran claros. ¿Cómo aparecieron entonces las primeras palomillas oscuras? La contestación más sencilla se le ocurrió hace 150 años a Jean B. Lamarck y consiste en suponer que el cambio en el color de los troncos de los árboles indujo de alguna manera la aparición de palomillas oscuras. Si pudiéramos resumir este mecanismo diríamos que el ambiente produjo una mutación que transformó a una clara en una oscura; ésta fue posteriormente seleccionada en troncos contaminados y así aumentó el número relativo de palomillas oscuras.

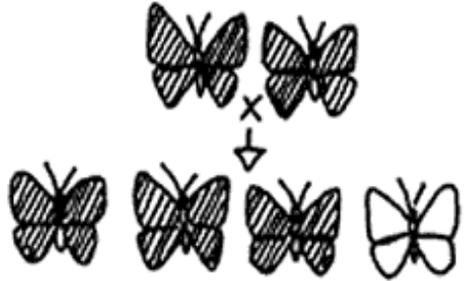
Cuando Darwin elaboró su teoría acerca del origen de las especies por medio de la selección natural, él también pensaba como Lamarck que el ambiente había producido un cambio genético en las palomillas.

Tuvo que pasar medio siglo para que se descubriera la manera cómo habían aparecido las primeras palomillas oscuras. Se encontró que independientemente del ambiente, mutaciones genéticas las generan continuamente y con una frecuencia muy baja (entre una en 10 mil y una en 100 mil).

Las mariposas
cambios



a) Mutación deriva génica



b) Sistemas de apareamiento



c) Selección y migración

Figura 13. La forma con que las frecuencias de las mariposas de distintos colores puede cambiar son, por (a) mutación o deriva genética (b), sistemas de apareamiento y (c) selección y migración.

No existe entonces un propósito de la mutación: hace 300 años cuando todavía no había contaminación ambiental las palomillas oscuras aparecían con la misma frecuencia que hace 100 años cuando los troncos de los árboles empezaron a oscurecerse.

Así pues en todos los organismos se están generando continuamente individuos diferentes por medio de mutaciones genéticas. Este fenómeno produce una gran cantidad de variantes sobre las que el medio ambiente selecciona las mejor adaptadas, las cuales dejarán más hijos y aumentarán su frecuencia en la población. Algunas otras pueden aumentar su frecuencia en la población, por la forma como se aparean los individuos, porque provienen de otra población, por mero accidente en la manera en que mueren los individuos o porque la mutación genética los está produciendo continuamente (Figura 13).

Ahora que ya revisamos cómo es que las poblaciones pueden ir cambiando en el tiempo quisiera entrar al aspecto central de la preocupación de Darwin: ¿cómo es que se origina una nueva especie a partir de especies preexistentes? En el capítulo III trataremos de analizar este problema.

¿QUÉ ES UNA ESPECIE?

El mundo en el que vivimos es la casa de aproximadamente un millón y medio de especies diferentes. El biólogo de ahora y el de antes se han dedicado a clasificar esa gran cantidad de seres. Se reconocen en principio cinco grandes grupos de organismos, los cuales incluyen a las plantas, animales, los hongos, las bacterias, y los organismos con un núcleo verdadero y con una sola célula (protistas) . Dentro de éstos se reconocen otros que van agrupando a un

número cada vez menor de especies. El nivel básico de esa clasificación es la especie, que es la que forma la unidad de identificación de todos los organismos. De la agrupación de especies se obtiene el género, de la agrupación de géneros se obtienen las familias y así sucesivamente hasta llegar a los cinco reinos mencionados anteriormente.

De esta necesidad de clasificar a los organismos surgió la necesidad de distinguir las especies entre sí. En un principio los naturalistas, como Aristóteles, no distinguían unas de otras. Se hablaba de plantas y animales y se creía que la hibridación entre organismos tan diferentes como el perro y el lobo era un fenómeno muy común, así como el que las semillas de una especie podían germinar llegando a formar una especie diferente. El cristianismo, con su concepto de creación de las especies, fue la primera corriente de pensamiento que distinguió entidades claramente separadas unas de otras de tal manera que formaban como islas dentro del océano. Así, una isla, como una especie, está separada de otra sin ninguna posible comunicación. Dentro de este contexto, los biólogos caracterizaron a las especies como entidades separadas y para ello utilizaron caracteres morfológicos.

MI ABUELA, LA HORMIGA Y EL ELEFANTE

Mi abuela era una persona muy práctica. Veía las cosas sin reconvocos, sin complicaciones. El concepto de especie que ella tenía era precisamente el morfológico que se inició con el cristianismo y que cristalizó dentro de la biología con Linneo en el siglo XVIII. No le era difícil a mi abuelita decir que las especies están separadas claramente entre sí y que un ejemplo muy claro de ello son precisamente la hormiga y el elefante. ¿Quién dudaría que la hormiga y el elefante son especies diferentes?, ¿o que un perro y un pájaro los

son también? Fue durante el siglo pasado cuando se empezó a cambiar este concepto estático al observarse que existe gran variación en la morfología entre individuos de la misma especie. La comprensión de cómo se transmiten las características de padres a hijos con las leyes de Mendel lo modificó: las especies están reproductivamente aisladas unas de otras; los perros y los pájaros no pueden cruzarse pero los perros entre sí lo hacen aun cuando sean muy diferentes. La especie es entonces definida como un grupo de individuos que pueden cruzarse entre sí. Pero resultó que con esta definición era difícil a veces puntualizar que es una especie, ya que pueden no producir híbridos fértiles. Tres pueden ser las causas de esto. El primero lo ejemplifica la cruce entre un burro y una yegua en la que se produce un mula, que es estéril. El segundo lo representa la hormiga y el elefante en el que dos especies no producen ni siquiera el híbrido. El último ocurre generalmente entre especies muy cercanas entre sí: se forman híbridos que son viables, pero en los que la segunda generación después de la cruce (los nietos) está compuesta por individuos muy débiles que no crecen o mueren rápidamente. Un ejemplo de esto lo representan dos especies de algodón (*Gossypium barbadense* y *Gossypium hirsutum*) en las cuales las semillas de los nietos o no germinan o mueren en el periodo de plántula (cuando la planta todavía depende de la semilla para crecer). Por otra parte, existen tres maneras de cómo el híbrido entre dos especies puede no formarse, dependiendo de las características de la reproducción que lo impidan.

NI NOS CONOCEMOS

Los individuos de dos especies diferentes pueden no formar híbridos porque su época de reproducción no coincida ni en el tiempo ni en el espacio. Tal es el caso de algunas especies de árboles de la

familia del colorín, la jacaranda y el frijol que se incluyen dentro del género *Cassia*.

Consiste en que dos especies diferentes, que viven en los mismos lugares del estado de Veracruz por ejemplo, son polinizadas por abejas, pero florecen en diferentes épocas del año, lo que hace que no se puedan cruzar entre ellas.

Otro ejemplo es el de las especies de sapos *Bufo americanus* y *Bufo fowleri*: su época de reproducción tampoco coincide: en la primera se da durante la primavera, y en la segunda más tarde. Pero en este caso particular existe también otro impedimento: lo que se llama aislamiento ecológico: *B. americanus* vive en áreas boscosas y *B. fowleri* vive en pastizales. De hecho, entonces, los individuos reproductivos de ambas especies ni siquiera se conocen y por tanto nunca forman híbridos.

TE CONOZCO Y ME GUSTAS

La segunda manera como dos especies se pueden mantener separadas reproductivamente sin formar híbridos consiste en la forma en que en ambas se efectúa el cortejo. En los mosquitos que transmiten la malaria se sabe que la hembra elige a su pareja después de haber sido cortejada: si el que corteja es de otra especie el cortejo no es del agrado de la hembra y ésta no estará receptiva. En las ranas el aspecto más importante lo constituyen las llamadas que los machos hacen. Si una llamada de éstas se graba y reproduce con bocinas, las hembras acuden al llamado. En la mosca *Drosophila permisilis* se han hecho experimentos poniendo hembras con machos de dos especies diferentes: la mitad de la misma especie que son las hembras y la otra mitad de otra muy parecida. Aunque se ha encontrado que la mayor cantidad de apareamiento ocurre entre

individuos de la misma especie, existe una cierta proporción de cruza que ocurren entre diferentes. Tenemos entonces dos fenómenos. Por un lado el hecho de que el cortejo mantiene separadas a las especies, y por el otro el que éstas no son entidades completamente aisladas unas de otras.

En las plantas el dicho "te conozco y no me gustas" no tiene ningún significado, ya que las plantas no tienen un comportamiento conductual como los animales. Nadie diría que una planta "corteja" a otra. Aun así hay fenómenos que aíslan entre sí a las especies de plantas y que pudieran compararse con lo que ocurre con los mosquitos y las ranas. Para entender mejor esto veamos la historia de la orquídea y la abeja.

Las flores en general dependen de factores externos para poner el polen (la parte masculina) en contacto con el estigma (la parte femenina). Algunas, como las flores de los pinos o el maíz, dependen del viento para llevar el polen de una a otra. Otras dependen de animales para su acarreo. Las abejas son las acarreadoras por excelencia. Ellas llevan el polen entre las diferentes matas de nopales, por ejemplo. Pero en estos casos las abejas no son muy específicas. En otros, en cambio, el polinizador sólo visita una especie de flor y ésta sólo es visitada por él. Tal es el caso de algunas orquídeas y abejas. Las especies de orquídeas están así separadas unas de otras y el polen de una nunca se pone en contacto con el estigma de otra. Este tipo de aislamiento entre especies es entonces muy parecido al de los mosquitos, ya que el mecanismo que une a los dos sexos (en un caso el cortejo y en el otro los polinizadores) mantiene a una separada de la otra.

Un caso extremo de "te conozco y no me gustas" lo representan muchas especies marinas en las que la fertilización se lleva a cabo no dentro de la hembra sino en forma externa: depositan los huevos (la parte femenina) y el esperma (la parte masculina) en el suelo del

mar donde se lleva a cabo la fertilización para la formación de individuos nuevos. En muchas de estas especies los huevos y el espermatozoide contienen sustancias que permiten el reconocimiento de unos por el otro.

En los casos anteriores hemos visto pues aquellos aspectos que mantienen separadas a las especies porque no se lleva a cabo la fertilización: ya sea porque los individuos están reproductivamente activos en diferentes tiempos o en distintos ambientes ecológicos, porque los mecanismos de reproducción, ya sea de cortejo o de polinización, son muy específicos para las diferentes especies, o porque las células que llevan a cabo la fertilización (el huevo y el espermatozoide) no se identifican entre sí por la ausencia de sustancias específicas.

TE CONOZCO, ME GUSTAS, PERO NUESTROS HIJOS NO SON NORMALES

En algunos casos la separación de dos especies en el aspecto reproductivo ocurre después de la fertilización. Es decir, los individuos de ambas especies son activos al mismo tiempo y no hay barreras en el ambiente para la fertilización, pero los mecanismos de reproducción no son los mismos. En estos casos se forma un híbrido. El aislamiento puede ocurrir entonces porque éste no es viable, o porque no puede sobrevivir, o porque aunque lo hace normalmente, no puede reproducirse. Ejemplo de estos fenómenos los constituyen la cruce entre la cabra y el borrego en la que el pequeño embrión crece unos pocos centímetros y luego muere, y la que se presenta entre el burro y la yegua que da como resultado la mula. Este híbrido no sólo sobrevive sino que es mucho más vigoroso que cualquiera de sus padres. Aun así, es estéril, por lo que no puede reproducirse.

Los resultados de las cruces entre diferentes especies han sido siempre sorprendentes. En 1927 se cruzó la col con el rábano con la esperanza de tener una planta que tuviera las hojas de la col y la raíz del rabano. Esta planta sería comercialmente más atractiva ya que toda sería aprovechable. Pero curiosamente se obtuvo un híbrido que tenía ¡las hojas del rábano y la raíz de la col!, que por supuesto era completamente inútil. Además, como en el caso de la mula, el híbrido también resultó estéril, con lo que quedó demostrado que aunque haya fertilización las dos especies están reproductivamente aisladas.

¿Y LAS ESPECIES SIN MACHOS Y HEMBRAS?

Hemos estado hablando hasta ahora de especies que se reproducen sexualmente, es decir, que tienen dos sexos y que de la unión de las células de ambos se perpetúan. Pero existen otras en las que este fenómeno no ocurre. Ejemplo de ello son muchas especies de caracoles en las que en un mismo individuo se producen las células hembra y macho y en él ocurre la fertilización. También a este grupo pertenecen muchos pastos en los que su polen fertiliza su propio estigma. El ejemplo más extremo de este fenómeno ocurre en las bacterias como las que nos causan la tifoidea. Éstas se reproducen no por un fenómeno sexual sino por la simple división de una célula a la mitad. En estas especies que no se producen sexualmente es difícil aplicar los conceptos acerca de los mecanismos que separan a unas de otras. De hecho, en ningún tipo de bacteria se presenta jamás la unión entre dos células, ni siquiera dentro de la misma especie. En estos casos los biólogos comparan los diferentes caracteres e identifican a las especies como aquellos grupos que más se parecen entre sí. Por ejemplo, hay algunas bacterias que se tiñen de un color cuando son expuestas a ciertas sustancias mientras que

otras no. Otros caracteres que se usan incluyen reacciones con otras sustancias. Finalmente se construye una tabla, como la mostrada en el Cuadro II, en el que se listan cuatro tipos de bacterias, en las que se busca la presencia o la ausencia de cinco caracteres. Si sólo usáramos el carácter tres no podríamos distinguir distintas especies, ya que todas las bacterias lo presentan. En cambio, cuando usamos los cinco, las bacterias A y B se agrupan como diferentes de las C y D. El aumento en el número de caracteres que se usan hace más fácil la distinción entre especies. Es por ello que los estudiosos de las bacterias usan la mayor cantidad posible.

LAS ESPECIES QUE FUERON

Como ya vimos en el capítulo I, la vida sobre la Tierra tiene aproximadamente 3 000 millones de años. También tuvimos la oportunidad de ver cómo muchas especies que existieron en el pasado ya no están con nosotros. De hecho, de cada 100 especies que han vivido sobre la Tierra 99 ya no están con nosotros. ¡La mayoría ha desaparecido! Sabemos de su existencia gracias a la observación de sus restos fósiles. Por desgracia no todas han dejado restos fósiles, otras sólo huellas. Pero sea como sea, en todos estos casos las definiciones de especies que hemos usado no se pueden aplicar. No podemos saber si dos fósiles podrían tener hijos y menos aún si éstos serían fértiles. Tampoco podemos someter a estos fósiles al análisis de su reacción con diversas sustancias. Sólo podemos entonces depender del análisis de los caracteres relacionados con su apariencia o morfología. De hecho, tamaño y forma se han convertido en las características determinantes de estas especies. Por supuesto, tamaño y forma solamente de las partes que pueden fosilizarse, y que en general son las partes duras de los organismos. Huesos, esqueletos, semillas y conchas son las estructuras más

típicas. Los biólogos que estudian los fósiles, los paleontólogos, tienen entonces una caracterización de la especie diferente de la de aquellos biólogos que estudian las existentes actualmente (los neontólogos).

Las definiciones de especies que hemos revisado hasta ahora dependían del tipo de organismo que estudiásemos: las barreras a la reproducción definían a las que tienen una forma de reproducción sexual, con los sexos separados, y el conjunto de características de los organismos a las asexuales. La caracterización global del tamaño y la forma nos ayudará ahora a formar grupos de especies de las que sólo tenemos los restos fósiles como prueba de su existencia en el pasado. La definición de especies dependerá pues, en esta ocasión, del sistema que se estudie y de sus limitaciones. El precio que se pagará en cada caso será la capacidad que tengamos para sacar conclusiones. Si nuestra definición de especie no es muy completa, como sucede en el caso de los fósiles, no vamos a entender claramente los procesos involucrados en su formación y desaparición (o extinción). Pero en cambio, si logramos que lo sea, nuestras conclusiones también lo serán.

¿CÓMO PUEDEN FORMARSE ESPECIES NUEVAS?

El estudioso ha encontrado varias maneras de explicarse la formación de especies nuevas. Dos de ellas en particular han sido consideradas como las más importantes y por ello las vamos a estudiar. Es cierto que además de éstas existen otras, pero, en realidad, son, en mayor o menor medida, una mezcla de las anteriores. La primera consiste en el aislamiento geográfico de poblaciones de una misma especie, que poco a poco se van separando entre sí, hasta desembocar en la formación de dos especies diferentes, y la segunda, en una separación reproductiva más o menos súbita entre indi-

viduos de una misma especie que con el tiempo formarán dos grupos diferentes.

LA SEPARACIÓN GEOGRÁFICA: LOS PINZONES DE DARWIN

Dentro del primer mecanismo vamos a revisar el ejemplo que se refiere a los llamados pinzones de Darwin. Estos animales viven en el archipiélago de las Galápagos, frente a las costas de Ecuador, y deben su nombre a que Darwin las estudió en el viaje que hizo por las costas de América del Sur. El archipiélago está formado por varias islas que están separadas entre sí por distancias de entre 5 y 400 km. Los pinzones de estas islas provienen de aquellos que vivían en el continente. La colonización de las islas se efectuó a partir de unos cuantos individuos que al llegar se encontraron en un ambiente un poco diferente del que había en el continente: no era igual la comida, en general no existían los enemigos naturales... Por tanto, los pinzones inmigrantes se enfrentaron a un medio distinto al cual se adaptaron después de algunas generaciones. El carácter que ha sido mejor estudiado es el de la alimentación. Dependiendo de su dieta existen en general dos tipos de pinzones: los que comen insectos, y que por tanto tienen los picos alargados, y los que comen frutos que los tienen más fuertes y achatados (Figura 14). Esta característica es sólo una de las muchas que se modificaron en los pinzones inmigrantes. Así pues, la adaptación a ambientes distintos fue haciendo que las poblaciones de las islas fueran siendo cada vez más diferentes entre sí, hasta que con el tiempo llegó a ser tan grande la diferencia que se generaron especies diferentes.

LA SEPARACIÓN A VECES ES OBLIGADA, NO ELEGIDA: EL CASO DE LAS GLACIACIONES

El segundo ejemplo que vamos a analizar se refiere al caso en el que la separación entre las poblaciones se lleva a cabo no por una migración de un grupo de individuos a otro lado, como lo fue el de los pinzones, sino al efecto directo de una barrera que de pronto las separa. Tal fue el caso del aislamiento que sufrieron las poblaciones oriental y occidental de muchos vertebrados en América y Europa durante los periodos de glaciación en el Pleistoceno, (esto es, hace entre 10 000 y 40 000 años). Durante estos periodos los casquetes polares aumentaron su tamaño y la temperatura, en general, bajó muchísimo. En donde había cordilleras, éstas estaban siempre cubiertas de nieve y hielo, lo que las convertía en barreras infranqueables. De esta manera poblaciones de osos en Europa y de serpientes de cascabel en América quedaron a cada uno de los lados. Después de un largo periodo de aislamiento estas poblaciones se fueron adaptando a los distintos medios que les tocó vivir hasta que se generaron dos especies diferentes. Por ejemplo, en el caso de los osos europeos este mecanismo parece haber dado origen al oso de las cavernas (*Ursus spelaeus*, especie ya desaparecida) y al oso más común llamado *Ursus arctos*. Sucede a veces que la barrera que originalmente separaba las dos poblaciones desaparece y permite de nuevo el contacto entre las que ahora son dos especies distintas, pero curiosamente ya no pueden cruzarse entre sí, lo que permite que se mantengan en su nueva forma. Este fenómeno cristaliza entonces la separación de dos poblaciones y la formación de dos especies nuevas.

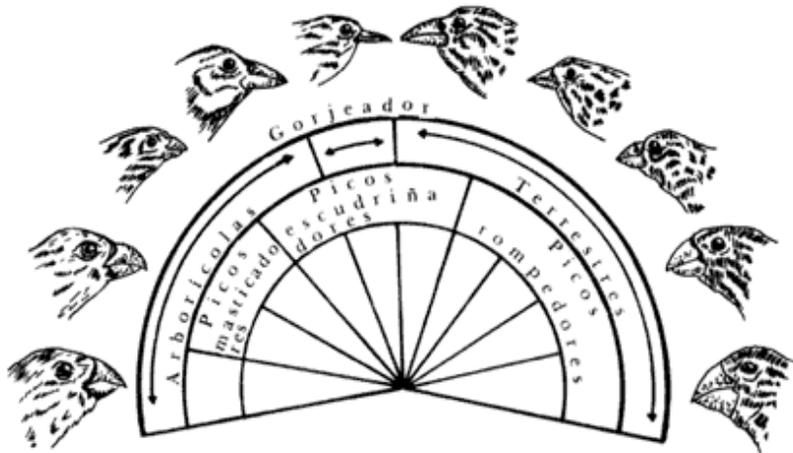


Figura 14. Las diferentes especies de pinzones tienen picos que les permiten aprovechar distintos recursos alimenticios.

AUNQUE TODAVÍA SEPARADAS, SE PARECEN

En algunos casos el proceso de especiación que hemos descrito no se llega a completar. Esto puede ocurrir porque el tiempo necesario para que las dos poblaciones se hagan dos especies diferentes no ha sido suficiente. Entonces pueden pasar dos cosas: primero, que la barrera que las separaba efectivamente desaparezca (podría ser que un glaciar que existía entre ellas se evaporase al aumentar nuevamente la temperatura después de una glaciación). En este caso las dos poblaciones pueden volverse a poner en contacto y, si

todavía no son especies diferentes, los mecanismos que podrían impedir que los individuos de ambas se cruzaran y tuvieran hijos y nietos fértiles no habrán llegado a su culminación. Este fenómeno actuaría como aquel que se daría al poner en contacto agua de dos tanques, una teñida de rojo y otra al natural: al mezclarse nos produciría agua color de rosa, lo que provocaría que ya no tuviéramos dos aguas diferentes sino nada más una. Lo mismo ocurriría con poblaciones que se hubieran hecho un poco diferentes cuando la barrera los separaba; al quitarla y cruzarse de nuevo entre sí, se logra que haya no dos poblaciones distintas sino una sola, homogénea: el entrecruzamiento elimina las diferencias entre ellas.



Figura 15.
Variación geográfica del género de caracoles *Cerion* en la península de Banes, Cuba

Puede ocurrir también que aunque la barrera que separa a las poblaciones no desaparezca, éstas no sean lo suficientemente diferentes como para ser consideradas especies distintas. En este caso se dice que una especie es politípica y que consiste de diferentes

subespecies o razas geográficas. Un ejemplo de este fenómeno lo constituye el caracol que vive en las aguas salobres de la costa este de Cuba y que está formado por seis diferentes grupos (Figura 15). Las diferencias en la forma y el tamaño de la concha así como en la coloración son muy nítidas pero siempre que se ponen en contacto dos de las poblaciones se forman híbridos perfectamente fértiles.

Un ejemplo de la existencia de subespecies que aún no han completado el proceso de especiación lo constituyen las aves "carboneros" o "herrerillos" (*Parus major*) que viven en Europa y en diferentes partes de Asia: la subespecie *major* vive en Europa y en la parte norte de Asia; la subespecie *bokharensis* vive en el centro de Asia; la subespecie *minor* vive en el este de China, mientras que la subespecie *cinereus* vive en India. Estas subespecies, aunque diferentes, no son lo suficientemente distintas como para ser consideradas especies (Figura 16).

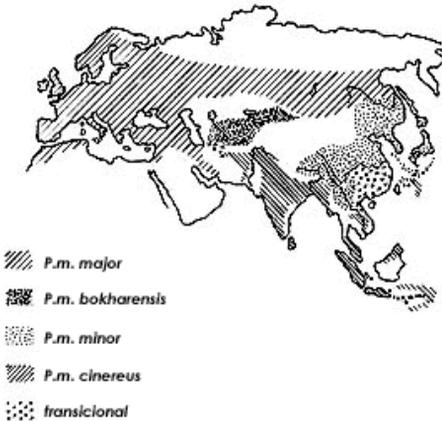


Figura 16.

Patrones de distribución de las subespecies de *Parus major*, el carbonero.

UN REPASO DE REPRODUCCIÓN SEXUAL.

La reproducción sexual es la unión de dos gametos de diferente sexo. El fenómeno celular que permite que esto se lleve a cabo se llama meiosis. En él la cantidad de material genético de un organismo se reduce a la mitad. Así, tenemos la mitad de la información de nuestra mamá y la otra mitad de nuestro papá. Durante la meiosis se elige uno de cada dos de nuestros cromosomas, ya sea el que heredamos de nuestro papá o de nuestra mamá. Esta elección se lleva a cabo porque los cromosomas que se parecen se juntan en la meiosis y al dividirse la célula uno se va a una célula hija y el otro a la otra (Figura 17). El misterio de la reproducción sexual depende entonces de la capacidad para poder unir dos células diferentes durante la fertilización y luego separar la información en partes que contengan la mitad de ella en la meiosis.

No siempre una célula tiene la misma cantidad de cromosomas. Algunas tienen el doble del número normal. Por ejemplo, si una célula tiene normalmente dos cromosomas, uno del padre y uno de la madre, en algunos casos se tienen dos del padre y dos de la madre, repetidos. En este caso los gametos involucrados en la fertilización tendrían no un cromosoma sino dos. Hasta este punto todo es posible y de hecho existen muchas plantas y algunos animales que tienen repetida la cantidad de cromosomas hasta varias decenas de veces y sin embargo tienen hijos normales. El problema se presenta cuando un gameto tiene dos cromosomas y el otro solamente uno. El número total en este caso ya no sería dos, que es el normal, o cuatro, que no hace estéril al individuo, sino tres.

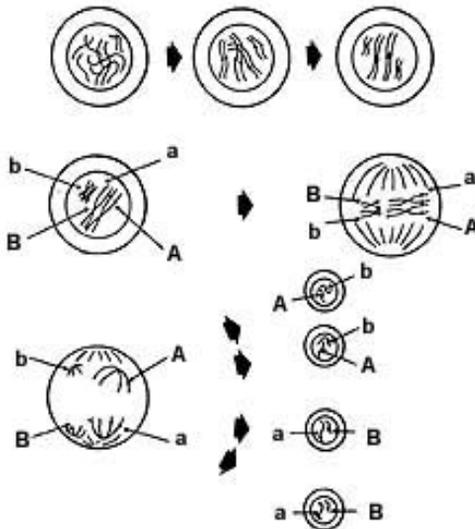


Figura 17.

La base celular de las leyes de Mendel ocurre durante la formación de los gametos (meiosis) en la que las alternativas de un carácter (a y A) se segregan y se unen al azar con alternativas de otro carácter (b y B).

UNA ESPECIE INSTANTÁNEA

¿Qué fenómeno estamos tratando de describir? Aquél en el que en una población, parte de los individuos tienen dos cromosomas y la otra tiene cuatro. Los hijos de la cruce entre ellos tendrían tres y no serían fértiles. Si en una población el número de cromosomas se duplica en algunos individuos, éstos quedan instantáneamente aislados de los demás y pueden entonces formar una especie diferente. Este mecanismo ha acompañado la formación de nuevas especies de plantas en aproximadamente una tercera parte de las existentes en la actualidad. Lo que lo distingue de un fenómeno de especiación asociado a una separación geográfica es que es muy rápido y

que las barreras a la reproducción entre las especies ocurren sin separación física entre ellas. Ejemplos de este tipo de fenómeno lo constituyen varias de las plantas que cultiva el hombre: el trigo por ejemplo tiene repetidos sus cromosomas seis veces a diferencia del tabaco que tiene cuatro.

Se ha visto que en muchos casos la repetición de los cromosomas hace a las plantas más vigorosas. Por ejemplo, en la fresa, que puede llegarlos a tener varias veces repetidos, se ha visto que el tamaño de la planta, de la hoja y de la fruta es mayor cuanto más grande es su número. De esta manera es como se ha explicado el éxito que las plantas con cromosomas repetidos han tenido en la naturaleza.

Los modelos que hemos visto son los que los biólogos usan comúnmente para describir cómo es que se generan nuevas especies. El primero es un fenómeno gradual en el que la separación geográfica precede al aislamiento reproductivo. El segundo, en cambio, es súbito y en él, el aislamiento reproductivo es previo a la divergencia entre las poblaciones.

EL ASPECTO EXPLOSIVO DE LA ESPECIACION

Según hemos descrito la especiación, el origen de nuevas especies se lleva a cabo por la acumulación continua de diferencias entre poblaciones que se adaptan a ambientes distintos, o a la aparición súbita de barreras a la cruce entre ellas. En ninguno de estos casos describimos cómo se pueden generar estructuras que revolucionen el patrón morfológico de una especie. ¿Cómo es, por ejemplo, que aparecen estructuras como la pluma de un ave, los pulmones de los vertebrados, o el aguijón en las abejas? Una vez que aparece un animal con plumas, la capacidad que tiene de usar nue-

vos recursos se amplía muchísimo. Este aspecto de la evolución ya lo hemos hecho notar en la primera parte. Vimos, por ejemplo, que había algunas características que una vez que aparecieron revolucionaron el curso del proceso evolutivo. Cuando las células aprendieron a trabajar juntas formando organismos con muchas de ellas, la división de funciones permitió que las diferentes actividades de un organismo fueran hechas por células especializadas para ello. La presencia de una placenta (que alimenta la sangre de los críos con la de la madre) en los vertebrados permitió que la manutención de una cría se hiciera en forma más efectiva dentro del cuerpo de la madre en donde sería más protegida.

LA LAGARTIJA CON PLUMAS

Uno de los casos en los que la evolución ha sido explosiva ocurrió cuando se originaron las aves hace aproximadamente 136 millones de años. En muy poco casos tenemos fósiles que den testimonio de la evolución de formas novedosas, pero éste es uno de ellos. El fósil *Archeopteryx lithographica* aun cuando posee características típicas de las aves, como grandes ojos y plumas, conserva muchas de las de los reptiles, como la presencia de dientes. Este animal representa pues un paso intermedio entre los reptiles y las aves.

NADIE SABE PARA QUIÉN TRABAJA

La existencia de grupos nuevos que revolucionan el camino de la evolución depende directamente de la aparición de estructuras novedosas que mejoren la adaptación del organismo a un medio ambiente particular. Si consideramos, por ejemplo, el aguijón de

las abejas, los pulmones de los vertebrados, o las espinas de los nopales, tendremos ejemplos de estructuras que en el pasado tenían una función diferente a la actual. El aguijón de las abejas era una estructura para poner los huevos que se modificó para la defensa. De la misma manera, la vejiga natatoria (estructura que usan ciertos peces para controlar la profundidad a la que nadan) se originó de la modificación de pulmones en peces primitivos. La vejiga natatoria, puede o no llenarse de aire, de tal suerte que funciona como un globo. Por último las espinas de los nopales son en realidad hojas que se transforman para solventar la sequía del medio ambiente. Otra vez en este caso una estructura que funcionaba para llevar a cabo la fotosíntesis, dando de comer a la planta, se modificó para evitar que la planta perdiese agua, además de servirle, por supuesto, como una defensa contra los animales que quieran comérsela.

La evolución de novedades como las que hemos visto es entonces un proceso oportunista que se aprovecha de las estructuras que pueden ser modificadas, cambiando su función y aumentando la adaptación del organismo a su medios.

LAS ESPECIES TAMBIÉN SE EXTINGUEN

Alrededor de 95 a 99 por ciento de las especies que han vivido en nuestro planeta ya no existen. Desde luego que su aparición es un fenómeno importante, pero su extinción lo es casi tanto. Hay dos maneras como una especie puede desaparecer: debido a la presión que ejercen los organismos entre sí, una epidemia o un depredador muy voraz pueden ser ejemplos de este fenómeno, o a características del medio ambiente físico que al modificarse abruptamente convierten un lugar dado en imposible de habitar, cambios en las temperaturas o la cantidad de lluvia son algunos ejemplos.

Para ver con mayor claridad el primer caso relataremos la historia de los mamíferos de Australia y de América del Sur.

A LOS HIJOS DE LOS DINOSAURIOS LES ENSEÑABAN QUE SÓLO HABÍA UN CONTINENTE

Poco sabemos acerca de la distribución de los mares y los continentes durante una gran parte de la historia de la Tierra. De los 4 000 millones de años que tiene nuestro sistema solar sólo de los últimos 250 millones tenemos evidencias de cómo era el aspecto general de nuestro planeta. En este último periodo los continentes sufrieron cambios muy grandes. Tan grandes que en las escuelas donde iban los hijos de los dinosaurios se enseñaba que sólo había un continente (Pangea). Este gran continente se dividió en dos hace aproximadamente 150 millones de años. Una de estas partes, Laurasia, estaba hacia el norte e incluía lo que ahora conocemos como América del Norte, Europa y Asia. El otro, Gondwana, al sur e incluía América del Sur, África, India, Australia y la Antártida. El movimiento de los continentes y su separación continuó durante los siguientes 100 millones de años hasta que, hace aproximadamente 65 millones, su distribución fue tan familiar como lo es en la actualidad (Figura 3). Para ese entonces fue cuando se extinguieron los últimos dinosaurios, y los textos con los que estudiaban tuvieron que ser modificados ya que al principio sólo había un continente y al final ya había varios.

Los animales no han sido ajenos a estos cambios, por supuesto. De hecho la aparición y desaparición de especies puede estar en muchos casos relacionada con los cambios en la geografía de nuestro planeta. Uno de ellos ocurrió cuando América del Norte y América del Sur se unieron por un puente.

EL PUENTE DE PANAMÁ

Como es lógico suponer, dado que la mayor parte del tiempo América del Sur y América del Norte estuvieron separadas, los animales de ambas zonas eran muy diferentes entre sí. Por su origen nórdico los animales de América del Norte se parecían a los de Europa mientras que los de América del Sur lo hacían más a los de África y Australia. Por otro lado, los mamíferos que son recientes en la Tierra se diversificaron exactamente durante la época en la que los continentes se separaron. Es por ello que hace aproximadamente 10 millones de años los mamíferos que había en América del Norte y América del Sur eran muy diferentes (Figura 18). Parientes de los canguros, los armadillos, los camellos, los caballos y los osos dominaban los ambientes de América del Sur. En América del Norte, en cambio, predominaban otros mamíferos mejor conocidos por nosotros. Hace unos tres millones de años la comunicación entre una y otra América se estableció con un puente que ahora conocemos como Centroamérica. Grupos de mamíferos de América del Norte, como cochinos salvajes y tapires, migraron hacia América del Sur y desplazaron a los mamíferos típicos de esas tierras, especialmente a los parientes de los armadillos. La competencia y la lucha por la existencia extinguió algunos de los mamíferos sureños a los cuales ya sólo los podemos ver por medio de reconstrucciones.

El proceso que he descrito aquí para un pequeño grupo de mamíferos se ha propuesto como la causa de la extinción de otras especies también. Con todo, el que se refiere a que el ambiente se modifica y los animales y las plantas no se adaptan a las nuevas condiciones parece ser el más común. Sea como sea uno de estos fenómenos eliminó de la Tierra a los dinosaurios y junto con ellos una gran cantidad de otros animales.

LOS MAYAS Y LOS DINOSAURIOS

Hace 250 millones de años aparecieron los primeros grandes reptiles (que incluyen a los dinosaurios). Estos animales llegaron a ser muy diversos. Había en el mar (mesosaurios), en el aire (pterosaurios) y en la tierra (estegosaurios).

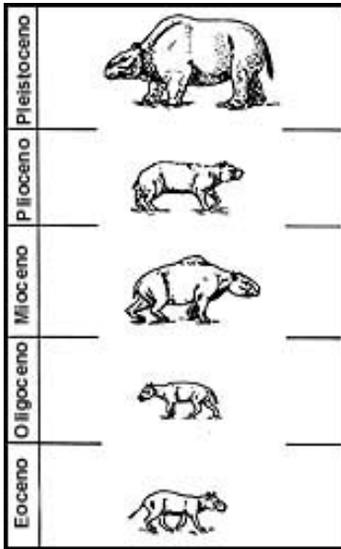


Figura 18.

Reconstrucción de algunos integrantes de la fauna de los últimos 60 millones de años.

Había especies que comían plantas (brontosaurios) y también las que comían otros animales (tiranosaurios). Entonces no había ni elefantes, ni leones.

El carácter explosivo de la evolución se expresó una vez más, ya que llegó a haber una gran cantidad de especies de dinosaurios. Hace aproximadamente 65 millones de años se extinguieron las últimas especies de este grupo que colonizó la mayoría de los ambientes de nuestro planeta. Los dinosaurios desaparecieron de la

misma manera en la que los mayas lo hicieron de los grandes centros ceremoniales de Chichén-Itzá, Tikal, Uxmal, etc.:sin dejar rastro de las posibles causas. Con todo, en ambos casos se han dado diversas explicaciones acerca de esto. Veamos algunos hechos. Quizá lo que explica mejor el caso de los mamíferos de América del Sur sea que la extinción de los dinosaurios coincidió con la de muchos otros grupos de animales. Muchas de las explicaciones que se han ofrecido se refieren a las causas que afectaron solamente a los dinosaurios, diciendo que perdieron su adaptabilidad al medio ambiente. Pero éstas no son muy válidas en la medida en la que no ayudan a entender el por qué otros grupos se extinguieron al mismo tiempo. Recientemente se han propuesto otras más convincentes para tratar de explicarlo.

LA LLUVIA DE IRIDIO

Muy pocos lugares de la Tierra exponen rocas que se hayan formado en la época de los dinosaurios. Pero los paleontólogos y los geólogos tienen que buscar precisamente éstos para entender cuáles eran las condiciones de la Tierra entonces. Uno de estos lugares está cerca del pueblo de Gubbio, en Italia. Allí las encontraron y se dieron cuenta que estas rocas no eran comunes. En ellas había una gran cantidad de fósiles de la época en la que vivieron los dinosaurios, y, como era de suponerse en la capa superior, mas reciente, ya no había ninguno de ellos.

Este hecho es común, sólo demuestra una vez más que hubo una gran cantidad de extinciones cuando los dinosaurios desaparecieron. Pero, curiosamente, entre estas dos capas había otra formada no de caliza sino de arcilla, no color crema sino roja y que además contenía 30 veces más iridio que cualquier roca terrestre, excepto

las que se encuentran en el centro de la Tierra. Esta capa era bastante ancha, lo que quería decir que una gran cantidad de este material se había depositado entre la presencia y la ausencia de nuestros amigos los dinosaurios. ¿De dónde vino pues todo este iridio? Además de existir en el centro de la Tierra, estas cantidades de iridio se han reportado en objetos extraterrestres, como meteoritos, fragmentos de asteroides y en cometas. Por tanto, la conclusión a la que se ha llegado es que el iridio proviene de los restos del impacto de un objeto extraterrestre en la Tierra.

Pero, ¿qué tan comunes son estos impactos? Ninguno de nosotros recuerda la caída de un meteorito durante su vida, y en la historia de la civilización hay muy pocos casos en los que este tipo de evento se haya registrado. Uno de ellos ocurrió en Siberia en 1908. En esa ocasión se registró una explosión de 12 megatonnes (240 veces la magnitud de la bomba lanzada en la ciudad de Hiroshima en 1945). Según esto, pareciera que estos fenómenos son muy raros, pero debemos recordar que la vida en la Tierra es muy antigua, tan antigua que la especie humana ocupa, un brevísimo periodo dentro de ella. Mas en este periodo de tiempo tan largo, tan largo, el número de eventos como el ocurrido en Siberia debe de ser muy alto. Digamos de varios centenares de miles. Se supone que mucho de los grandes cráteres que hay en la Tierra deben su existencia a colisiones de objetos como los meteoritos.

¿CUÁLES SON LOS EFECTOS DE UNA COLISIÓN?

Las colisiones que hemos descrito deben haber tenido un efecto devastador en la zona de impacto. Todos los animales y plantas existentes en esa zona lo más probable es que desaparecieran, pero este hecho no explicaría dos aspectos más: el primero es que no todas las especies se han extinguido y el segundo es que una coli-

sión en una parte de la Tierra no extinguiría a las que viven en otras partes. Como sabemos que los dinosaurios desaparecieron de todo el planeta, debemos buscar un fenómeno que afecte a toda la Tierra y que además no extinga completamente la vida. Hace unos años se propuso una teoría en la que se planteaba que el impacto de un objeto extraterrestre de gran tamaño había producido una nube de polvo de tal magnitud que la Tierra se oscureció (bajando la temperatura promedio varios grados) por un largo tiempo. Sin luz las plantas no podrían llevar a cabo la fotosíntesis y sin ellas los animales morirían. Entre ellos, los dinosaurios serían de los más afectados. Se agrega a veces otro ingrediente a esta teoría: se propone que varios impactos (como si hubiera habido una lluvia de meteoritos) causaron un efecto que, aunque global, no extinguió la vida sobre la Tierra.

NOS VEMOS EN 15 MILLONES DE AÑOS

Las extinciones han sido eventos muy comunes durante la historia de la vida en la Tierra. Aquélla en la que estuvieron involucrados los dinosaurios es sólo una de ellas, y ni siquiera la más catastrófica. Los paleontólogos se han preguntado si hay algún evento que sea común a todas ellas y de este análisis ha resultado que aproximadamente cada 26 millones de años ha ocurrido una gran extinción. Esta teoría propone que un evento que afecta a los habitantes de la Tierra ocurre aproximadamente cada 26 millones de años y que de alguna manera produce una lluvia de meteoritos que a su vez provoca la extinción de una gran cantidad de especies. La hipótesis predice que un planeta o cometa cuya órbita alrededor del Sol dura 26 millones de años está causando este fenómeno. Asimismo se propone que a su paso por una nube de cometas situada más allá de Neptuno los desvía de su curso normal y hace que se

dirijan a otros lugares, entre ellos la Tierra. Así se explicaría que hubiera eventos regulares de extinción cada 26 millones de años. Por cierto, como la última gran extinción ocurrió hace 11 millones de años, en aproximadamente 15 millones más ¡nuestros descendientes van a tener algunos problemas para sobrevivir!

USTED Y LA EVOLUCIÓN

LA COMPRENSIÓN de los patrones y los mecanismos de la evolución es el objeto central de este libro. Sin duda uno de los capítulos más interesantes de la evolución lo representa para nosotros la relevancia que tienen esos principios en el conocimiento de nosotros mismos y de nuestros orígenes. En esta última parte trataremos precisamente lo que sabemos acerca de la evolución del hombre. La estructura que seguiremos será como la de las partes anteriores de este libro. Veremos las evidencias que tenemos acerca de que el hombre forma parte del fenómeno evolutivo, de las revoluciones adaptativas que representa el ser humano, así como del aspecto de la generación de especies cercanas al hombre. Al final tocaremos un aspecto que no hemos tocado hasta ahora. Nos referimos a las implicaciones que para la evolución orgánica del hombre han tenido la civilización y la cultura, esto es, discutiremos los aspectos que ha producido el nacimiento y desarrollo de otro tipo de evolución en nuestra especie, la evolución cultural. Este fenómeno, como veremos, tiene sus raíces en la capacidad que tenemos para entender y transmitir símbolos que forman la base de nuestra cultura.

Eso sí, en ningún momento debemos olvidar que como seres humanos formamos parte del Universo como cualquier otra especie. Que si bien las adaptaciones actuales nos capacitan para manejar nuestro ambiente en forma muy ingeniosa, ello no nos aleja más

de otros organismos que la habilidad que tienen las abejas para encontrar áreas con flores y transmitir esa información a sus congéneres. Como ellas gozamos de ciertas habilidades, pero finalmente ambas convivimos en esta tierra y por tanto no somos distintos.

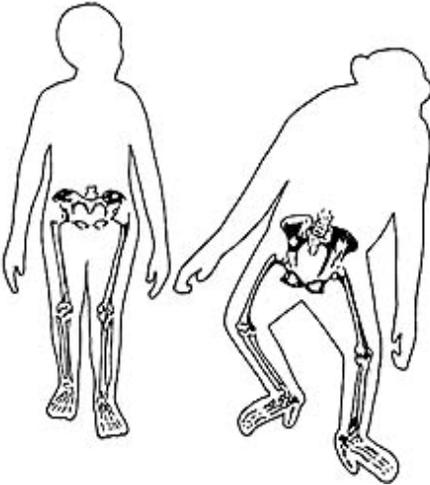


Figura 19.

Comparación entre los huesos de un chimpancé y el primer homínido que caminó erguido hace aproximadamente 3 millones de años.

Y HACE MILLONES DE AÑOS...

El registro fósil más antiguo de un homínido data de hace aproximadamente 12 millones de años. Se encontró en las colinas de Siwalk, Pakistán. También se los ha encontrado en partes de India, Turquía y África Oriental. Era un animal cercano a nosotros porque de los restos se ha podido ver que las muelas son como las de un grupo que incluye a los gorilas, los chimpancés, los gibones y los orangutanes. Estos son los parientes vivos más cercanos al hombre, y han sido nombrados en conjunto como ramapitécidos.

Pero, ¿qué tan cercanos son? Una característica que nos distingue de los chimpancés y los gorilas es que mientras nosotros tenemos la cara plana, ellos tienen un hocico (boca protuberante). De las reconstrucciones de las quijadas de los ramapitécidos se ha podido concluir que su cara, aunque no tan plana como la nuestra, no era tan prominente como la de los chimpancés y los gorilas (Figura 20). A partir de esto (que por cierto es el único elemento que podemos analizar porque no tenemos restos de otros huesos), podemos fácilmente decir que los gorilas y los chimpancés están menos relacionados al hombre que los ramapitécidos. Desgraciadamente no sabemos si estos animales andaban en dos patas o en cuatro ya que no tenemos los restos de la pelvis y el fémur que nos dirían cómo caminaban. Los ramapitécidos aparecen en el registro fósil de hace aproximadamente 14 millones de años y desaparecieron hace aproximadamente ocho millones. Quizá otros animales fueron los ancestros directos de la humanidad, pero por ahora éstos son los candidatos más probables a ser los iniciadores de nuestra historia.

CUANDO PUDIERON PLATICAR Y COMER PINOLE

Como ya hemos dicho podemos decir muy poco de la forma de vida de los ramapitécidos así como de sus características porque tenemos muy pocos fósiles. En el lapso que va de los ocho millones de años (que fue cuando desaparecieron del registro fósil estos animales) a los cinco millones el registro fósil de homínidos es muy escaso. Hasta la fecha no se han encontrado restos que nos guíen respecto del destino final de los ramapitécidos y por ello de nuestros ancestros de entonces. Pero a partir de los fósiles de hace cinco millones de años comenzaron a aparecer homínidos que tenían la capacidad de caminar erguidos en sus patas. Éstos son muy abundantes y se han descubierto en una gran cantidad de lugares en

África. De estos animales hemos llegado a tener tantos fósiles, que no ha sido difícil tener una idea de su forma de vida. De hecho, se han encontrado al menos dos tipos generales. Uno de individuos mayores llamado *Australopithecus robustus* que vivía en zonas boscosas y tenía una mandíbula muy poderosa que le ayudaba a comer alimentos muy duros," y otro, más frágil en su complexión, que vivía en praderas. A éste se le ha llamado *Australopithecus gracilis*. Ambos eran más pequeños que el hombre actual, ya que llegaban a medir hasta 1.20 m aproximadamente, o sea lo que mide en la actualidad un niño de cinco a ocho años.

En ambos tipos de australopitécidos se han descubierto los huesos necesarios para decir si estos seres caminaban o no erguidos como nosotros. Por un lado se ha encontrado que la unión que tiene el cráneo de estos animales y su columna vertebral es característica de la posición erguida, ya que la inserción está en el centro del cráneo. En animales como el gorila, que camina en cuatro patas, la inserción de la columna se encuentra en la parte posterior. Sin duda la forma de los huesos de la cadera es uno de los hechos que más nos ayudan a comprobar que los australopitécidos caminaban erguidos, pero existen otros. Los huesos de la cadera de los animales que caminan en cuatro patas son alargados y angostos. Tal es el caso de los chimpancés y los gorilas. Los huesos de nuestra cadera son, en cambio, cortos y anchos para sostener el peso del cuerpo. En los australopitécidos el hueso de la cadera aunque no es exactamente humano, tampoco es alargado como el de los monos. De estos dos hechos se concluye que los australopitécidos desde hace entre tres y cuatro millones de años ya caminaban erguidos en las patas traseras. Se ha descubierto, además, evidencia más directa de que hace casi cuatro millones de años había homínidos que caminaban erguidos, esto es, la existencia de pisadas fosilizadas de tres individuos. Junto con esas pisadas se encuentran huellas de otros animales (rinocerontes, jirafas y elefantes). Se ha reconstruido lo

que debió de haber ocurrido: hubo una erupción de un volcán y cuando las cenizas estaban todavía calientes, en lo que ahora es Laetoli (Tanzania) llovió y el agua hizo una mezcla lodosa; fue entonces que tres australopitécidos caminaron por allí. Se sabe que son pisadas de animales que caminaban erectos por las huellas del dedo gordo y el talón que son muy características. Dos de los individuos caminaron juntos mientras que el tercero (un niño) lo hizo por el mismo lugar pero no junto a ellos ya que las pisadas están demasiado cerca unas de otras. Así pues estas huellas, descubiertas en 1976 representan la evidencia más directa de que hace 3 750 000 años tres homínidos ya caminaban erguidos como lo hacemos en la actualidad.

Se ha escrito mucho acerca de las ventajas que representa la posición erguida. En general se considera que fueron muchas. Entre ellas se ha destacado el que con esa posición se liberaron los brazos para llevar a cabo otras funciones, como el manejo de armas y de herramientas. Asimismo se ha sugerido que mejora la visión a larga distancia así como la recolección de frutos, semillas y otros recursos alimenticios. También se ha propuesto que la resistencia para recorrer grandes distancias es mucho mayor que en animales con una locomoción a cuatro patas. Es seguro, de cualquier forma, que el caminar erguido significó una revolución adaptativa para nuestros parientes y para nosotros mismos.

CHIQUITOS PERO MUY HÁBILES

Los australopitécidos de hace tres y cuatro millones de años eran bastante pequeños cuando llegaban a adultos. Medían no más de 1.20 m y no pesaban más de 40 kilos. Su cerebro era también pequeño, alrededor de 400 cm³ (la manera como se mide la capacidad del cráneo es calculando el volumen; esto puede hacerse bas-

tante fácilmente con cráneos fósiles). Es decir, un australopitécido tenía alrededor de 10 cm³ de cerebro por kilogramo de peso.

Hace alrededor de 25 años se encontró en la barranca de Olduvai, en África Oriental un cráneo fosilizado de hace aproximadamente 1 750 000 años. Perteneció a un homínido que caminaba erguido y que tenía un cerebro de 800 cm³ para sus ¡40 kilos de peso! Esto significa que comparado con los australopitécidos este homínido tenía dos veces más de capacidad craneana (el hombre actual tiene un cerebro bastante mayor, de aproximadamente 1 350 cm³, que para los 60-70 kilos de peso promedio es también el doble que el de los australopitécidos). Posteriormente, en 1972 se descubrieron otros restos de estos homínidos en el lago Turkana, África, y se comprobó en forma definitiva que el tamaño del cerebro constituía la mayor diferencia con los australopitécidos. Además de restos de huesos, en esos lugares también se han encontrado pedazos de las herramientas que construyeron estos homínidos, que, aunque de tamaño pequeño, demuestran que tenían un cerebro relativamente grande. Es por esto que se les ha llamado *Homo hábilis*, siendo, además, de los primeros homínidos que aparecieron en el registro fósil a los que ya se les puede llamar hombres. Estos aparecieron hace dos millones de años.

TIRE LA BASURA

Cuando los arqueólogos buscan restos del pasado encuentran, además de huesos, muchas otras cosas que les hablan de la organización social y los hábitos de los homínidos que vivieron entonces. En el lago Turkana, en África, se ha descubierto uno de los sitios más interesantes en este aspecto. Del cuidadoso análisis de la basura dejada en un campamento usado por *Homo hábilis* se ha podido entender el tipo de alimentación y la utilidad que las diferentes

herramientas tenían para aquéllos. A partir de esta información se ha podido saber que sus actividades incluían la recolección de frutos y la caza. El hombre entonces cazaba en grupos y muy probablemente distribuía la comida que, unos cazando y otros recolectando, diferentes miembros de la comunidad obtenían. Así pues, la vida en comunidades donde se repartían las actividades ya existía hace dos millones de años.

TE VAS A QUEMAR...

Entre hace dos millones de años y un millón de años nuestro registro de homínidos vuelve a ser pobre. De no encontrar australopitécidos se ha concluido que se extinguieron en ese periodo de tiempo. Los únicos homínidos que quedaron desde entonces pertenecen al género *Homo*. A su vez, el *Homo habilis* también desaparece del registro fósil, pero de hace un millón de años se han descubierto una gran cantidad de fósiles que pertenecían a homínidos que usaban herramientas (por lo que se les considera del género *Homo*), además de que ya conocían el fuego, puesto que en las cuevas que se han excavado hay restos calcinados y quemados de huesos, piedras y pedazos de madera.

El descubrimiento de los primeros restos de estos homínidos, que son llamados *Homo erectus* en la actualidad, lo llevó a cabo en Java un investigador holandés llamado E. Dubois en 1891. En ese entonces se le llamó *Pitecanthropus* (hombre-mono) *erectus* y muy pocas personas creyeron en la validez de ese descubrimiento. Se argumentaba que seguramente los restos pertenecieron a un hombre enfermo y con deformaciones.

En general los restos de *Homo erectus* se han encontrado dentro de sedimentos de entre 800 000 y 300 000 años. Los lugares donde se les ha hallado incluyen sobre todo Asia (China), África (Argelia,

Tanzania y Sudáfrica) y Europa (Checoslovaquia y Hungría). De éstos sólo en Hungría y en China se han encontrado restos que comprueban que ya usaba el fuego.

El tamaño del cráneo de *Homo erectus*, aunque grande (aproximadamente 1 000 cm³) no es tan grande como el del hombre actual. El uso del fuego le permitió sobrevivir en zonas en las que antes no se podía vivir por las bajas temperaturas. Esto amplió el área de distribución con respecto a la que tenían los australopitécidos o a los *Homo habilis*.

LA CONCIENCIA DE UNO MISMO

El registro fósil vuelve de nuevo a ser muy escaso entre hace 250 y 100 000 años. En ese periodo el *Homo erectus* desaparece del registro fósil, pero aparece otro Homo en varias zonas de Europa, el cercano Oriente y la Unión Soviética. En Europa se incluyen el valle de Neander, Alemania y varios sitios en Francia. En muchas de ellas se han encontrado restos que evidencian una cultura en donde ¡ya se enterraba a los muertos! Estos tienen una antigüedad de entre 100 y 40 000 años. Eran hombres de una estatura promedio de 1.63 m y tenían una capacidad craneana aproximadamente 15% mayor que la del hombre moderno. Este hombre ha sido llamado *Homo neandertalensis* o también *Homo sapiens neandertalensis*. En el primer caso se le considera una especie diferente a la del hombre (*Homo sapiens*) mientras que en el segundo se le considera sólo una subespecie de éste. Hasta donde sabemos, lo único que lo distingue de aquél es su aparente incapacidad de utilizar símbolos para comunicarse.

Un aspecto del ser humano que está ausente en los animales es la conciencia que tenemos de nuestra existencia como individuos. Esto mismo supone que tenemos conciencia de nuestra muerte y de

lo que ella implica. Es quizá esto lo que ha generado en la humanidad la presencia de rituales entre los que se incluye el de enterrar a nuestros muertos. El hombre de Neandertal seguramente ya tenía una conciencia similar, ya que se han hallado tumbas que incluyen, por ejemplo, hachas, huesos de otros animales, semillas y flores con las que se hacía de los entierros rituales muy particulares.

Por ejemplo, de la caverna de Shanidar, en Iraq, de donde se han desenterrado varios restos *neandertalensis*, se ha podido concluir que además de enterrar a sus muertos ponían flores dentro de las tumbas. Esto se ha descifrado porque se han encontrado granos de polen de varias especies de plantas en grandes cantidades dentro de ellas. Los hombres, entonces, han honrado a sus muertos con flores desde hace aproximadamente 100 000 años.

El que el hombre haga rituales mortuorios no solamente se expresa enterrando a sus muertos. Los cadáveres pueden ser colocados en lechos contruidos de ramas y hojas en el exterior o incluso cremados. Esto puede haber sucedido pero jamás lo sabremos, puesto que de estas dos costumbres, por razones obvias, no quedan restos en la actualidad.

Las costumbres del hombre de Neandertal incluían para alimentarse la cacería y la recolección de frutas, semillas, hojas y raíces. En algunos lugares del mundo y sobre todo durante las glaciaciones, cuando los casquetes polares llegaban a lugares en los que en la actualidad hay un clima templado, seguramente eran casi únicamente carnívoros y dependían sólo de la cacería para su sobrevivencia. Vivían en cuevas, aunque se ha propuesto que también construían viviendas con pieles y ramas en campo abierto. Formaban grupos sociales de entre 20 y 30 individuos. Del conteo de restos en diversas partes del mundo se ha sugerido que el número de hombres era mayor que el de mujeres. De este hecho se ha supuesto que probablemente practicaban el infanticidio de niñas. La

cacería, que se practicaba un par de millones de años antes, era una actividad en la que el hombre de Neandertal era experto. Aunque muchas de sus presas fueran más rápidas que él, su ingenio y habilidad para acorralar a su presa lo hacían más eficiente cazador, aun cuando se tratara del enorme oso de las cavernas (*Ursus spelaeus*) que llegaba a tener 2.70 metros de altura.

La labor detectivesca en la revisión de los restos fósiles ha ayudado a descifrar las costumbres y forma de vida de los neandertalensis. Se ha encontrado, por ejemplo, que en los incisivos de los esqueletos descubiertos existen cientos de estrías que van desde la parte superior izquierda a la parte inferior derecha.

Esto ha hecho pensar que comían la carne sujetándola con los dientes y cortándola con una roca afilada con la ayuda de la mano derecha. Como se ve, ¡ya entonces los hombres usaban más comúnmente una mano que la otra!

¿HIJOS DE NEANDERTAL?

El hombre moderno apareció en el registro fósil de hace aproximadamente 40 000 años. Durante este periodo su aspecto no ha cambiado en nada. Su capacidad craneana, aunque un poco menor que la del hombre de Neandertal, es sin duda, una de las mayores, relativamente, que tiene cualquier mamífero o vertebrado. Como los ramapitécidos no tiene hocico y como los australopitécidos la cadera permite que camine erguido sobre sobre sus piernas. Así, como *Homo habilis* ha conseguido controlar y manejar herramientas tan sofisticadas como una grúa de construcción o una maquina de escribir. El manejo del fuego le permite al *Homo erectus* y al hombre de Neandertal vivir en lugares a los que anteriormente no se podía ni soñar en colonizar. Este fue sólo el inicio del manejo del ambiente que hoy le ha permitido construir viviendas habitables tanto

en las áreas con climas más calientes como en aquéllas más frías. También, como los hombres de Neandertal, lleva a cabo ceremonias que no sólo incluyen los entierros sino también el matrimonio, el nacimiento de un niño y los cumpleaños, por sólo mencionar algunos. La gama de ceremonias en la actualidad, de hecho, sobrepasa al individuo, ya que las tiene en honor ya no sólo de personas sino de grupos o ideales, como la nación o la bandera.

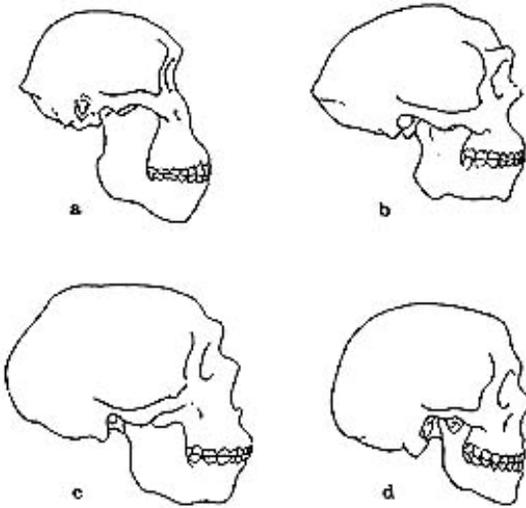


Figura 20.

Características generales de los cráneos de algunos homínidos:

- (a) Australopitécido,
- (b) *Homo erectus*,
- (c) Hombre de Neandertal
- y (d) Hombre actual.

Hay tres teorías acerca de la manera como apareció el hombre moderno y su relación con el hombre de Neandertal. La primera propone que el hombre de Neandertal se extinguió y de otra línea de descendencia dentro del género *Homo* se originó el *Homo sapiens*. La segunda sugiere que el hombre de Cro-Magnon (primer

fósil con las características del hombre moderno) reemplazó al hombre de Neandertal porque estaba más adaptado al medio ambiente. La tercera, que se considera en la actualidad la más probable, supone que la línea de descendencia del hombre de Neandertal, que era muy diverso (Figura 20), evolucionó transformándolo en lo que ahora es el hombre moderno.

LO QUE NOS HACE COMO LOS AJOLOTES

Los ajolotes, animales que son primos de las ranas, tienen una característica muy particular. A diferencia de las ranas que se desarrollan en dos etapas, sólo tienen en su desarrollo un tipo de apariencia. Las ranas viven la primera etapa en el agua sin patas, y la segunda en la tierra con ellas. La causa de que ocurra esta transformación es una hormona que dispara el desarrollo de la rana. En el ajolote ésta no se produce por tanto nunca se transforma en "rana": siempre permanece en el agua, nunca tiene patas y se reproduce teniendo una apariencia juvenil. De la comparación entre el cráneo de un gorila y el de un hombre se puede concluir que la diferencia entre ellos se puede explicar suponiendo que la madurez sexual llega antes en el hombre que en el gorila, de la misma manera como ocurre en el ajolote. Es por ello que el humano adulto mantiene rasgos juveniles de parientes como el gorila. Este patrón de desarrollo, llamado neotenia, es común en la naturaleza, y se ha visto que en general es un fenómeno que se puede considerar como una fuente de novedades que se incorporan al universo de la evolución orgánica. El cambio en los parámetros del desarrollo en muchos casos ha acompañado al proceso de especiación.

EL ESPÍRITU HUMANO

Ya vimos cómo el ser humano se distingue de otros homínidos desde el punto de vista de su aspecto. Pero hay otras características que no pueden concluirse de los restos fósiles y que también lo distinguen de otros animales. La presencia de estas características ha hecho que el hombre se libere de las presiones del ambiente y por ello de la evolución biológica como la hemos descrito en este libro. La primera de éstas es el uso de símbolos que ayudan al hombre a comunicarse con sus semejantes, la que tiene mucha relación con la segunda: me refiero a la capacidad que tenemos de imaginar situaciones que no han ocurrido, de pensar en las diferentes alternativas de un fenómeno determinado, o en otras palabras, de modificar nuestro destino. La tercera es una herencia de las costumbres que tenía el *Homo habilis*, o sea la aptitud que ha tenido nuestra cultura de desarrollar tecnologías para modificar el ambiente que la rodea: la elaboración de medios de transporte, de máquinas para hacer bienes de consumo, para transmitir y procesar información, para cambiar la temperatura del ambiente en el que se desarrolla el hombre etc. Ya no es sólo el producir herramientas para mejorar la alimentación sino para aumentar el nivel de vida en general. La última característica consiste en la capacidad de recordar y sintetizar los sucesos que han ocurrido en el pasado para planear el futuro. Esta capacidad de evaluación y planeación que ayudó tanto a los cazadores, se usa en la actualidad para llevar a cabo una gran cantidad de actividades.

LA NOVEDAD EN EVOLUCIÓN

Cuando revisamos la primera parte la historia de la vida en la Tierra pudimos observar que algunas características que aparecieron

en las especies revolucionaron el curso de la evolución. Entre las que mencionamos se encuentra la aparición de la multicelularidad en los organismos. Ésta, como todas las novedades evolutivas, abrió una amplia gama de posibilidades para la adaptación a diferentes, ambientes. La capacidad de los nuevos organismos multicelulares de destinar grupos de células para llevar a cabo funciones específicas es sin duda una característica que abrió la puerta a la aparición de grupos de organismos que podrían adaptarse al ambiente en formas no imaginadas anteriormente. Este concepto de novedad evolutiva podría entonces ser definido como la aparición de una característica que no podía haber sido predicha de la observación de células unicelulares.

De la misma manera, las características mencionadas como distintivas de la humanidad pueden ser consideradas como novedades evolutivas, ya que de la observación de los parientes cercanos al hombre no se podría predecir la existencia de dichas características. Por ejemplo, de la observación de la capacidad de *Homo habilis* para hacer herramientas no se podía haber predicho que el ser humano iba a construir una lavadora de ropa o una máquina para hacer tornillos. Tampoco de la observación de nuestros parientes se podía haber predicho que el ser humano iba a tener la capacidad de planear acciones con base en la experiencia pasada. Esta habilidad es diferente de la forma automática como ciertos animales prevén el futuro. Veamos como.

UN CUENTO MÁS, QUE NO ES MÁS QUE UN CUENTO

¿Quién no conoce el cuento de la cigarra y la hormiga? Se nos narra con la idea de infundir en nosotros el concepto de pensar en el futuro, de considerar que el mundo y nuestro alrededor pueden cambiar en cualquier momento. Que si ahora estamos satisfechos

con un ambiente pródigo, que nos proporciona todo, en el futuro éste podría cambiar y encontrarnos súbitamente sin nada.

Por eso la hormiga durante el verano guarda para el invierno, mientras que la cigarra, inconsciente y despreocupada, canta. Durante el invierno la cigarra pedirá ayuda a la consciente hormiga. Pensemos ahora por qué hace esto la hormiga, tratando de distinguir dos posibilidades. La primera sería que la hormiga, como dice el cuento, conscientemente planea para el futuro, ya que sabe que cada año después del verano y el otoño viene el invierno para el que uno debe de estar preparado. La segunda posibilidad sería que la hormiga lo hiciera automáticamente sin tener conciencia de su acto. El experimento que nos ayudaría a distinguir entre ambas alternativas consistiría en someter a la hormiga a un ambiente en el que no hubiera invierno (por ejemplo en un área tropical) durante varios años. Lo que encontraríamos es que la hormiga, que proviene de un clima con invierno, guardaría comida cada año durante el verano. En otras palabras, no tendría la capacidad para planear el futuro considerando sus experiencias pasadas. Es por la falsedad del cuento de la cigarra y la hormiga que podemos decir que esta característica es exclusiva del ser humano.

LOS CABEZONES

El hombre moderno es junto con el hombre de Neandertal el homínido que tiene el mayor tamaño de cráneo. Esto no sólo en forma absoluta sino también en relación a nuestro tamaño: somos más cabezones. Su aumento, de hecho, se ha venido dando desde hace tres millones de años (Figura 21). Hay periodos de tiempo que, aunque cortos, permitieron un aumento considerable del cráneo. Por ejemplo, el *Australopithecus afarensis* tenía alrededor de 350 cm³ de capacidad craneana, mientras que entre el *Homo erectus* y el *Homo sapiens* (500 mil años) aumenta de 850 cm³ a 1 300-

1 500 cm³. Esto significó que ciertas zonas del cerebro aumentaron su número de células incrementando seguramente su capacidad para imaginar situaciones o unir eventos que ocurrieron en distintos momentos, así como para planear acciones para el futuro. ¿De qué manera entonces el aumento del cerebro amplió la adaptación de estos homínidos? Hay muchas opiniones al respecto y quisiera mencionar aquí cuatro de ellas.

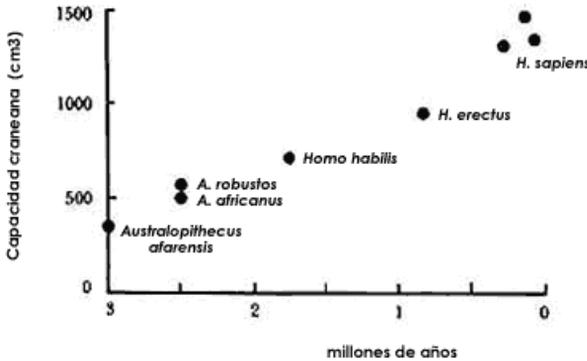


Figura 21.

Aumento de la capacidad del cráneo en los homínidos durante los últimos tres millones de años

La primera consiste en que implicó el hecho de comunicarse para planear la actividad de caza, ya que, además de unir los esfuerzos de varios individuos en un grupo, el tener una estrategia basada en la habilidad de cada uno de hacer evaluaciones de otros eventos de la cacería facilitaba la obtención de presas. La segunda ventaja pudo haber tenido relevancia en cuanto a la capacidad para estar continuamente alerta como grupo. El tener vigías durante la noche facilitó la defensa de posibles enemigos. La tercera se supone que tuvo relación con la capacidad para jugar con los pequeños y entrenarlos en técnicas para hacerlos mejores cazadores. Estos dos factores ciertamente no son únicos del hombre, de hecho otros anima-

les también llevan a cabo este tipo de actividades, pero lo que los hace diferentes es que estos carecen del lenguaje que les da una dimensión distinta de su importancia. Más aún, el poder entrenar a los pequeños usando el lenguaje facilita el aprendizaje y amplía sus habilidades. Por último, facilitó el poder incrementar el tamaño del grupo social, con la correspondiente obtención de recursos suficientes para todos. Mantener a un grupo social grande, de más de 30 individuos digamos, requiere de una organización y una división del trabajo que va más allá de conductas sociales sencillas: exige de la planeación y el análisis de diversas estrategias que mantengan la cohesión del grupo.

Si se observa, todo lo mencionado significa que de alguna manera el aumento en el tamaño del cerebro incrementó la adaptación de los grupos de homínidos al ambiente, pero esto es una regla general. El hombre de Neandertal (*Homo sapiens neandertalensis*) construyó herramientas mucho menos complejas que el de Cro-Magnón (*Homo sapiens sapiens*) a pesar de tener una capacidad craneana entre 10 y 20 por ciento mayor. Esto supone entonces que el aumento físico del cráneo no es lo único que incrementa la adaptación.

LA EVOLUCIÓN CULTURAL

Hasta ahora hemos visto cómo diferentes características del hombre y sus parientes los han ayudado a adaptarse al medio ambiente. ¿Sigue ocurriendo esto en la actualidad? Hoy en día el hombre ya no se adapta a su ambiente por medio de la evolución biológica sino por medio de la llamada evolución cultural: para sobrevivir ya no son importantes las características biológicas sino más bien las culturales. Regresemos un momento al hombre de Cro-Magnón y a sus herramientas. Éstas facilitaron sin duda su adaptación prove-

yéndole de formas para explotar y utilizar mejor su ambiente. Pero como ya mencionamos, la construcción de herramientas tan sofisticadas no significó un aumento en la cantidad de neuronas. ¿Cómo fue entonces que adquirió esa habilidad? La respuesta, aunque se puede resumir en una sola palabra, describe un fenómeno extraordinariamente complejo: la cultura. Hemos concebido hasta ahora a la evolución biológica como la modificación de la estructura genética en las especies: en la molécula de la herencia, el ácido desoxirribonucleico (DNA), se acumulan todos los cambios que modifican una especie y la transforman en otra. En la evolución cultural el proceso de acumulación de información no se lleva a cabo en la molécula de DNA sino en todos aquellos aspectos que componen la cultura: las artes, la ciencia y la tecnología. En ellas se acumula el conocimiento y las experiencias que el hombre ha ido obteniendo a través del tiempo. Así, esta cultura ya no se transmite de generación en generación por medio del código genético sino de libros, pinturas y todos aquellos medios de acumulación de información que poseemos.

LA TRANSMISIÓN DE LA CULTURA

Uno de los aspectos más dolorosos de la muerte de un hombre lo constituye el hecho de que toda su formación, sus ideas, su cultura, desaparecen con él. Sus hijos no heredan ese acervo cultural como lo hacen con sus características físicas. Esto sin contar que la herencia cultural es selectiva: El hijo de un gran músico no es, generalmente, ni siquiera un músico regular. En cambio, el hijo de un hombre con ojos oscuros, muy probablemente también los tendrá oscuros. Pero eso no es todo. La transmisión de la cultura no se parece a la de los genes en muchas otras características. Por ejemplo, por lo general, se transmite a individuos que no están relacio-

nados por parentesco. Las ideas se transmiten con la misma facilidad entre parientes que entre extraños. La cultura es, de hecho, un fenómeno tan complejo, que el hombre ha instituido un proceso de aprendizaje de ella que lleva una veintena de años y en ningún caso cubre todas sus áreas con profundidad. La cultura es, pues, tan vasta en la actualidad, que una sola persona no puede acumular toda esa información. De aquí que tengamos la necesidad de construir bibliotecas, hemerotecas, etc.

¿Y la evolución biológica? Hemos visto que la evolución cultural es un evento omnipresente en nuestra sociedad, pero esto no quiere decir que algunos aspectos de la evolución biológica, los extremos, no existan. Por ejemplo, la existencia de algunos genes que producen enfermedades muy graves, a veces hasta mortales, aún no han podido ser eliminadas. Esto es, las personas que tienen esos genes, mueren, de allí que sigamos estando sujetos a la selección natural y, por tanto, a una evolución biológica. En la actualidad la medicina ya está logrando que en la mayor parte de los casos, estas personas sobrevivan. Uno de ellos es el de la diabetes: se las mantiene sanas gracias a la constante inyección de una proteína, la insulina, cuya falta produce la enfermedad. Más aún, se está intentando llevar esta violación de "las leyes de la naturaleza" a niveles extremos: hoy en día se investiga la posibilidad de "injertar" el gene que produce la insulina normal en personas enfermas, de tal manera que se pueda no solamente curarlas, sino hacer que puedan transmitir el gene normal a sus hijos. Esto demuestra que si proyectáramos hacia el futuro la evolución humana, podríamos predecir que la evolución cultural será sin duda de hoy en adelante la manera más común como la humanidad se adaptará a su medio ambiente, convirtiendo a la evolución biológica en una alternativa cada vez menos importante.

AUNQUE LAS COMPARACIONES NO SON BUENAS...

Dicen que toda comparación es mala, pero para entender un poco más lo que representa la evolución cultural me gustaría compararla con la evolución biológica.

El proceso de evolución biológica requiere de la aparición de variantes (mutaciones) que en condiciones específicas serán seleccionadas. En la evolución cultural sucede algo semejante: se consideran ideas que aparecen y que bajo ciertas condiciones socioeconómicas, también incrementarán en frecuencia las personas que las comparten. En la evolución biológica hemos hablado de genes que aumentan su frecuencia en el fenómeno de adaptación (capítulo III). En la evolución cultural las ideas constituyen características que modifican el acervo cultural de las sociedades. La aparición de las mutaciones es un fenómeno independiente de su posible adaptación. En un ambiente acuático con mucha sal, por ejemplo, no aparecen más frecuentemente mutaciones que adapten a los organismos a las altas concentraciones de sal que en un ambiente con poca salinidad. En cambio, cuando hablamos de la generación de ideas siempre se dice que ciertas ideas surgen con más frecuencia en ciertas condiciones socioeconómicas e históricas. El cálculo infinitesimal desarrollado independientemente por Newton y Leibniz, o el concepto de selección natural propuesto también independientemente por Darwin y Wallace, son ejemplos de que la aparición de ideas corresponde a condiciones específicas de la sociedad.

Si comparamos la transmisión de los genes con la de las ideas encontraremos que en el primer caso la transmisión es vertical (de padres a hijos) única y exclusivamente mientras que en el segundo ocurre también entre individuos de la misma generación (transmisión horizontal). Esto quiere decir que el incremento en la frecuencia de una idea en una población puede ser mucho más rápido que el que se presenta en un gene.

La selección natural opera en forma muy similar a la selección cultural. Cuando algún individuo tiene una habilidad cultural que lo beneficia (ya sea una herramienta , una tecnología particular o hasta una receta de cocina), aparte de que muy probablemente tendrá más recursos, poco a poco sus ideas, tecnologías o recetas serán más frecuentes en la sociedad, de forma similar a como ocurre en la selección biológica. Existe, por otro lado, un aspecto de la evolución cultural que es completamente diferente de la natural. Una idea puede hacerse más frecuente porque existe un proceso militar de imposición en el que un grupo de hombres obliga a que cierta cultura y ciertas ideas predominen.

Por último, la mortalidad o fecundidad no selectiva que tratamos en el capítulo II, que se presenta en poblaciones pequeñas con mucha frecuencia y que genera diversificación de las poblaciones, tiene un fenómeno paralelo en la evolución cultural. Éste predice que en poblaciones aisladas existirá una mayor divergencia simplemente porque algunas ideas tenderán a fijarse más rápidamente en poblaciones de pocos individuos aunque no sean adaptativas. Este hecho explica en parte las diferentes tradiciones y culturas que tienen algunas tribus. Ideas más irreales tienden a fijarse más en sociedades pequeñas.



La Ciencia desde México es coordinada editorialmente por
MARCO ANTONIO PULIDO Y MARÍA DEL CARMEN FARÍAS.

La publicación en 1859 de *El origen de las especies* de Charles Darwin, tras veinte años de estudios y reflexiones posteriores a su famoso viaje de cinco años en el barco *Beagle* en calidad de naturalista de a bordo, provocó una revolución en el mundo de la ciencia cuyos ecos no se han apagado todavía y que da lugar, aun en nuestros días, a acerbadas discusiones.

El doctor Daniel Piñero apunta en *De las bacterias al hombre: la evolución*, un libro que nos da un panorama general de la evolución tal como es entendida en la actualidad que, "a los quince años descubrí que existe una clara homología entre las extremidades de los caballos y las nuestras. Que modificando nuestra estructura ósea se puede obtener la de un perro y casi sin hacer nada más la de un simio. La idea de transformación, de evolución, estaba sembrada y desde entonces he tratado de entender este hecho. En el proceso he aprendido mucho del mecanismo de la evolución, la historia de sus conceptos, sus teóricos principales y los fenómenos más importantes. Para ello he trabajado diversos aspectos de la biología . Y la bioquímica, la ecología y la genética han sido las herramientas que he usado para entender la evolución"

Así, con amplio acopio de ejemplos y recurriendo a una exposición de notable claridad, Piñero conduce al lector a los orígenes de la vida en nuestra Tierra, con el fin de llenar algunas líneas de esas 3999 páginas de un libro del cual sólo conocemos vida la última —

venturosa comparación de la historia de la vida en comparación con la vida del hombre—, a un mundo radicalmente distinto del que conocemos, poblado por organismos unicelulares que a veces formaban colonias llamadas estromatolitos.

A partir de estos remotos orígenes, se va explicando como el surgimiento de la atmósfera actual, saturada de oxígeno, constituyó la primera contaminación ambiental de la historia y, ya instalada la vida en tal ambiente, algunas células aprendieron a vivir en simbiosis o se especializaron para formar organismos más complejos; y cómo éstos aparecen y desaparecen, hasta llegar al hombre. El autor afirma que la teoría de la evolución es sólida y trata de resumir en este libro la idea de que todo el conocimiento biológico actual gira alrededor de ella.

Daniel Piñero estudió biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM y se doctoró en la Universidad de California en Davis, especializándose en genética de poblaciones y evolución. Actualmente colabora en programas de investigación y de formación de personal en la UNAM.
