

BIBLIOTECA PEDAGÓGICA

BIOLOGÍA
PEDAGÓGICA

POR

W. L. EIKENBERRY

Y

R. A. WALDRON

SEGUNDA EDICIÓN

PUBLICACIONES DE LA REVISTA DE PEDAGOGÍA

B I O L O G Í A P E D A G Ó G I C A

Traducción del inglés por
ANTONIO DE ZULUETA

Segunda Edición

Este libro es de libre distribución gratuita.
Carece de derechos de propiedad



Biblioteca Libre
Omegalfa

Publicaciones de la Revista de Pedagogía

Avenida Pi y Margall, 7

MADRID

1936

- 2 -

Revista de Pedagogía
PUBLICACIÓN MENSUAL, FUNDADA EN 1922

Director
LORENZO LUZURIAGA



La REVISTA DE PEDAGOGIA aspira a reflejar el movimiento pedagógico contemporáneo y en la medida de sus fuerzas, a contribuir a su desarrollo. Dotada de la amplitud de espíritu que requiere el estudio científico, está alejada de toda parcialidad y exclusivismo, e inspirada en el sentido unitario de la obra educativa, dirige su atención a todos los problemas de la enseñanza.

La REVISTA DE PEDAGOGIA tiene al tanto a sus lectores de la vida pedagógica mundial, con sus secciones: *Artículos originales. Consultorio pedagógico. Notas del mes. Educación Nueva. Informaciones. Noticias. Libros. Revistas. Bibliografía reciente, Servicio bibliográfico.*

La REVISTA DE PEDAGOGÍA se publica mensualmente en cuadernos, que forman al año un volumen de más de 600 páginas.

Precios de suscripción: *España, un semestre, 7 Pesetas; un año, 12; número suelto, 1,25.*

Repúblicas hispanoamericanas: un año, 14 pesetas; número suelto, 1,50.

Los suscritores tienen derecho a un 25 por 100 de descuento en las publicaciones de la Revista.

OFICINAS:

Pi y Margall, 7 - MADRID - Teléfono 24.126

Tipografía Nacional. San Marcos, 4 Tel. 28.211 Madrid

PARTE PRIMERA

ADAPTACIÓN AL MEDIO

CAPÍTULO I

ORGANISMOS Y MEDIO

Un medio hostil.

Tanto las plantas como los animales viven en un medio que, en parte, les es hostil y que los destruiría si no estuviesen adaptados adecuadamente a él. En realidad, los organismos están bastante bien adaptados a las condiciones ordinarias del medio en el que acostumbran a vivir. La telaraña, por ejemplo, es un artificio efficacísimo para capturar los insectos voladores.

La falta de adaptación se hace evidente cuando aparece una condición inusitada o si los organismos son colocados en un medio para el que no son adecuados. Así, cuando en un país templado se presenta un período frío, con nieve, cuando los árboles han echado ya brotes de primavera, de tres o cuatro pulgadas, los árboles no tienen defensa contra esta circunstancia extraordinaria y los brotes mueren. Tomemos otro ejemplo: los monos son animales interesantísimos y gustaría a los visitantes de los grandes parques nacionales de los Estados Unidos el que se añadiese monos a la población de animales indígenas; pero desgraciadamente para este proyecto, los monos no están adaptados al clima frío y morirían miserablemente si se les expusiese a los

rigores de un invierno septentrional. En los países fríos sólo es posible tenerlos si se adapta artificialmente el medio a los monos, proporcionándoles pabellones adecuados para el tiempo crudo.

La temperatura es sólo uno de los muchos factores del medio al que animales y plantas tienen que adaptarse. Las condiciones de agua son también importantes. El protoplasma vivo contiene siempre una gran proporción de agua, y si ésta se evapora por completo el protoplasma muere. Las células que viven en el agua no están en peligro de desecarse, pero los organismos expuestos al aire corren continuamente este riesgo, a menos que estén provistos de medios de regular la evaporación. Muchas de las adaptaciones más llamativas de los organismos están relacionadas con la retención de agua y otras lo están con necesidades tales como la defensa contra las lesiones mecánicas, protección contra los enemigos, obtención de alimento, etc.

La idea de adaptación al medio se hace más clara examinando el modo por el que algunas de las máquinas inventadas por el hombre están adaptadas a sus fines. El hombre ha ideado y construido muchas máquinas que le sirven para el transporte. Consideremos para nuestro objeto el automóvil, la canoa de motor y el aeroplano. Los tres sirven para el fin de un rápido transporte; están todos impulsados por un motor de gasolina y en ellos se han empleado casi los mismos materiales; pero desde otros muchos puntos de vista son completamente diferentes.

El automóvil está provisto de ruedas y otras piezas que lo adaptan a la progresión sobre el suelo; la canoa de motor tiene un cuerpo redondeado y terminado en pico que le adapta al movimiento en el agua, pero que sería completamente inadecuado en tierra; el aeroplano tiene el cuerpo de forma algo parecida a la canoa, pero con alas, y esta característica lo adapta al movimiento en el aire. Los tres están impulsados por motores de gasolina, pero el modo como se utiliza la energía es diferente de

suerte que cada uno se adapta a su medio. De igual modo, en cualquier otra parte, se vería que cada máquina está peculiarmente adaptada a su medio determinado; aun cuando las tres realizan lo mismo en el último término: el transporte rápido.

Ejemplo de adaptaciones animales.

De la multitud de conformaciones de adaptación que se encuentran en el cuerpo de los seres vivos, puede servir de ejemplo cualquier especie de planta o animal. Tomemos por ejemplo el búho.

Uno de los primeros caracteres del búho que atraen la atención es el pico encorvado con la parte superior mucho más larga que la inferior. Es evidente que este pico no está adaptado para ir cogiendo comida del suelo, al modo como la gallina se procura el alimento; más bien lo está para desgarrar la carne de animales de los que hace presa el búho. Las patas no están adaptadas para andar por el suelo ni para escarbar en busca del alimento según hace la gallina; pero sí lo están bien para agarrar y retener la presa. Los ojos son grandes, con pupilas grandísimas, de manera que la visión resulta muy buena con poca luz, aun cuando la luz viva pueda ser algo molesta al animal. Las alas son muy grandes en comparación con el tamaño y el peso del cuerpo, por lo que permiten un potente vuelo. Así, por sus ojos, alas, plumas, pico y garras, el búho está bien adaptado para apresar animales que salen de noche.

El problema del agua.

Si el protoplasma de una célula pierde una parte considerable de su agua, cesa toda actividad notoria, como ocurre en las semillas llamadas secas. Si la pérdida de agua continúa, el protoplasma, finalmente, se muere. La abundancia de agua en las células activas, especialmente en sus vacuolas, es la base de la gráfica afirmación de que las células no son más que saquitos de

protoplasma llenos de agua. Y no solamente están las células llenas de agua, sino que muchas están rodeadas por ella: la mayor parte de los animales y plantas unicelulares viven en el agua; el mismo género de vida encontramos, salvo pocas excepciones, en las algas y en los grupos inferiores de animales, como esponjas, corales, actinios, hidras, y en los anélidos y moluscos.

En el caso de los animales terrestres, como el hombre mismo, las células están de continuo bañadas por la linfa, y de este modo se encuentran tan rodeadas por el agua como una ameba o un paramecio. Los animales y plantas terrestres son, pues, acuáticos en cierto sentido importantísimo. Las células sólo pueden funcionar debidamente en este medio acuático, pues las células del cuerpo toman del líquido que las rodea su alimento y oxígeno y descargan en dicho líquido sus productos de desecho, del mismo modo que los protozoos, unicelulares, toman alimento y oxígeno del agua en que viven y vierten a ella sus desechos. Cada uno de nosotros vive así en un medio acuático que lleva consigo mismo.

El problema de impedir la pérdida de agua interna es importantísimo, pues los animales y plantas terrestres están casi continuamente expuestos al aire, al que pasaría el agua por evaporación si algo no lo impidiese. La principal adaptación para impedir la pérdida de agua es el tegumento, en los animales, y la epidermis y la corteza, en las plantas.

Epidermis y economía acuosa.

La capa de células muy juntas que constituye la epidermis ordinaria de las plantas, es, por sí misma, un considerable impedimento para la rápida evaporación del agua del interior de las hojas o de otras partes de la planta. Este efecto de la epidermis está muy reforzado por la presencia de una capa exterior de un material llamado cutina. El carácter más importante de la cutina parece consistir en que es casi impermeable al agua y, por consiguiente, ayuda mucho a impedir la evaporación. La capa grue-

sa y lanosa de pelos que hay sobre algunas hojas, como las del verbasco, indudablemente retarda la evaporación.

Muchas plantas que crecen en sitios áridos, tienen hojas pequeñas y, por consiguiente, poca superficie de evaporación, o pierden la hoja durante la estación seca, reduciendo así, temporalmente, la superficie, o —como los cactus— carecen de hojas y presentan sólo una superficie pequeña de tallo. Los cactus, que son casi esféricos, muestran la máxima reducción de superficie.

El tegumento de los animales.

De los grupos de animales la mayor parte de cuyos individuos viven en el aire, el de los insectos es el inferior. Como es sabido, están cubiertas por una capa en la que se deposita un revestimiento de quitina. Esta sustancia es impermeable al agua y casi indestructible por los agentes químicos o por la exposición a la intemperie. Sirve para dos objetos: proporcionar sostén al cuerpo y evitar la evaporación de agua.

La piel de los vertebrados está constituida por dos capas distintas: una externa o *epidermis*, y otra interna o *dermis*. Las células de la parte más profunda de la epidermis crecen y se dividen activamente; las células recién formadas son empujadas hacia el exterior por otras más nuevas aún, formadas debajo de ellas. Gradualmente, las células toman forma aplastada, adquieren carácter córneo y, finalmente, se desprenden. La parte exterior de la piel está constituida, consiguientemente, por células muertas que de continuo son reemplazadas por otras de debajo.

La parte interna de la piel, la dermis, está compuesta de una red laxa de células y fibras que contribuyen a unir la piel con los tejidos subyacentes. En muchos animales, como en la rana, existen células negras irregulares que forman una capa inmediatamente debajo de la epidermis, conocidas con el nombre de células de pigmento. Estas células contienen materias de color.

Accesorios de la piel.

Las escamas de los peces, las plumas de las aves, los pelos de los mamíferos, las placas de las tortugas, lo mismo que las espinas, uñas y cascos, son todo producciones de la piel. Muchas de estas formaciones epidérmicas son de grandísima importancia en la adaptación de los animales a su medio.

Las plumas de las aves.

Ninguna formación epidérmica hay de mayor interés que las plumas de las aves. Una pluma está constituida por una parte central o eje y una porción ancha formada por barbas, dispuestas por lo común a uno y otro lado del eje, las cuales tienen sus divisiones llamadas *bárbulas*. Las bárbulas se unen entre sí por medio de unos ganchitos que mantienen las barbas unidas de modo que forman una superficie firme y continua. Esta es la superficie sobre la que se ejerce la presión del aire cuando el animal vuela: es una adaptación para el vuelo. Moviendo las barbas se pueden desenganchar las bárbulas, ya aisladas, ya en grupos, y pasando suavemente los dedos se pueden enganchar otra vez; esto último es lo que hace el ave cuando se alisa las plumas; es cosa corriente ver un ave llevar el pico a la glándula de grasa de debajo de la cola y luego alisarse las plumas al mismo tiempo que se las unta.

Las plumas son la mejor adaptación al vuelo, que se encuentra en los animales; sirven también para retener el calor del cuerpo, lo que es de importancia, pues las aves son animales de sangre caliente; su poco peso favorece notablemente el vuelo.

La piel de los mamíferos.

En los mamíferos la epidermis es menos importante que la dermis. Existen pocas especies de mamíferos con el extenso de-

sarrollo de partes duras en la epidermis que es común en reptiles y peces; pero algunos mamíferos tienen positivamente escamas epidérmicas: el armadillo es un ejemplo; cascos, uñas y garras son igualmente epidérmicos.

El revestimiento característico de los mamíferos es el pelo, que es también de origen epidérmico. La mayor parte de los mamíferos tiene una espesa capa de pelo, excepto en algunas partes del cuerpo, como las plantas de los pies o las palmas de las manos; aunque algunos, como el hombre, están sólo pobremente cubiertos. Como todos los mamíferos son de sangre caliente, es muy grande la importancia del revestimiento de pelo para evitar la pérdida de calor.

Un rasgo peculiar que debemos señalar son los pequeñísimos pliegues de la piel que se ven en los dedos y las palmas del hombre y de algunos otros animales; pliegues análogos se encuentran también en los pies. Parece que son de alguna utilidad para evitar el resbalamiento y proporcionan así una adhesión más firme a la mano o al pie. La disposición de estos pliegues difiere en los distintos dedos de las manos y pies de una misma persona, y no hay dos personas en que formen exactamente los mismos dibujos. Como el dibujo no cambia durante la vida del individuo, las impresiones digitales constituyen un dato excepcionalmente bueno para la identificación. Se pueden obtener impresiones digitales, como muestra, apretando el pulgar primero sobre un tampón de tinta para sello y luego sobre una hoja de papel.

Las estructuras de sostén.

El protoplasma es una sustancia líquida y por ello las formas inferiores, como las amebas, que consisten en simple protoplasma, tienen fluidez. Los animales y plantas pluricelulares serían poco más que masas informes semi-fluidas si no estuviesen sostenidas por alguna clase de materiales más sólidos. En las plantas las paredes celulares son rígidas, y por consiguiente, no

es necesario un sistema especial de sostén. Como los tejidos de las plantas son rígidos e inarticulados, la mayor parte de éstas no pueden moverse.

Los animales están formados por células con paredes de proteína, que no es rígida, y por ello necesitan un aparato especial de sustentación. Los animales que viven en el agua son sostenidos por ésta y, por consiguiente, pueden pasar con menos esqueleto de sostén que el que necesitan los animales terrestres. Los cuerpos de los animales son, en general, sólo un poco más pesados que el agua, por lo que ésta los sostiene bien, como todos podemos observar al bañarnos. Las medusas, sin esqueleto de sostenimiento de ninguna clase, conservan su forma mientras están en su medio natural. Los huesos o espinas de los peces son notablemente más ligeros y frágiles que los de los animales terrestres. Por flotar en el agua, las ballenas pueden moverse rápida y libremente a pesar de ser los mayores animales vivientes; si viviesen en tierra, el esqueleto necesario para sostener a una ballena tendría que ser enormemente grande y pesado.

En los animales inferiores los tejidos de sostén están generalmente en la parte externa; ejemplos de esto son la cubierta quitinosa del cuerpo del saltamontes y la concha de la ostra. En los vertebrados las estructuras de sostén son principalmente internas y constituyen el esqueleto más conocido. Aunque es posible el que los movimientos se ejecuten por medio de músculos no insertos en parte alguna dura, como ocurre en la lombriz de tierra, el pulpo, la trompa del elefante o la lengua del hombre, los músculos relacionados con la locomoción actúan ordinariamente sobre el esqueleto en los animales que lo poseen.

Homología y analogía.

Todo el que sea algo observador habrá notado las grandes semejanzas que existen en el cuerpo de los vertebrados, aun entre los que están tan distantes entre sí, como el hombre y la rana,

y por ello nos sentimos tentados a llamar brazos a los miembros anteriores de la rana, aunque al mismo tiempo nos demos cuenta de que en realidad son patas; esto se debe a que reconocemos fácilmente la semejanza fundamental entre los miembros anteriores de la rana y los del hombre. Unos y otros son en realidad el mismo órgano diferentemente modificado en adaptación a medios y usos diferentes también.

Cuando se reconoce que dos órganos son el mismo por su estructura y origen, aunque posiblemente difieran por su uso, se dice que son *homólogos*. Cuando sirven simplemente para el mismo fin, con alguna semejanza superficial, pero con diferente origen y estructura, decimos que son *análogos*; ejemplo de analogía es el ala de un ave y el ala de un insecto; ambas son anchas y planas, ambas sirven para el vuelo, pero en otros respectos no hay semejanza alguna.

Uno de los ejemplos mejores de homología es el que encontramos en los esqueletos de los miembros de los vertebrados. Los animales de este grupo tienen, casi sin excepción, dos pares de miembros como los brazos y las piernas del hombre. En pocos casos faltan uno o ambos pares, como ocurre en las culebras; aunque en un número relativamente grande de estos mismos casos quedan todavía vestigios degenerados de los miembros, que indican que los antepasados remotos de los animales en cuestión poseyeron dos pares.

Los miembros de los vertebrados están contruidos según un plan común que lo mismo se puede descubrir en la aleta de la ballena que en el ala del ave, la pata del cuadrúpedo o en la pierna del hombre (fig. 1^a). Cada miembro comprende: 1) un cinto que une el miembro a la columna vertebral; 2) un hueso largo que forma el esqueleto de la parte del miembro más próxima al cuerpo, como el brazo; 3) dos huesos largos, uno al lado de otro, en la parte siguiente del miembro, como el antebrazo; 4) un grupo de huesos pequeños, como la muñeca; 5) un

grupo de cinco huesos en la planta o en la palma; 6) los grupos de los huesos de los dedos de las manos o de los pies. Existen típicamente cinco dedos en cada uno de los cuatro miembros.

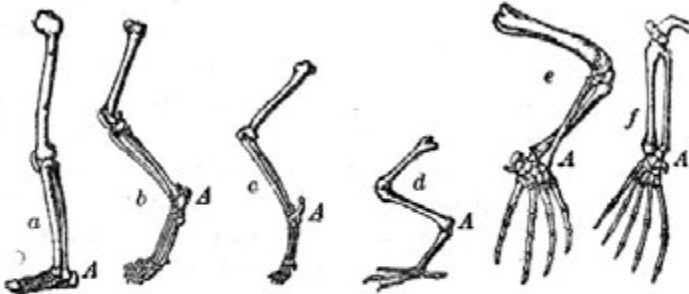


Fig. 1.^a—Esqueletos de los miembros posteriores de algunos vertebrados.

a. hombre; *b.* león; *c.* lobo; *d.* pato; *e.* cocodrilo; *f.* foca. *A* indica la posición del talón.

Modificaciones de los miembros de los vertebrados.

Los caracteres generales de los miembros arriba indicados pueden verse en todos los grupos de vertebrados superiores a los peces, y aun en este mismo grupo se pueden encontrar muchos de los caracteres mencionados. El esqueleto de la pata de la rana es muy parecido, hueso a hueso, al de la pierna del hombre; pero en los miembros anteriores de la rana sólo existen cuatro dedos. Algunos reptiles antiguos, extinguidos actualmente, tenían alas; pero eran homólogas, hueso a hueso, de las patas anteriores de otros vertebrados (fig. 2.^a). Las alas de las aves son también homólogas de patas anteriores; los huesos del antebrazo se pueden reconocer fácilmente; pero la mayor parte de los dedos han desaparecido o están representados sólo por vestigios



Fig. 2.^a—Esqueletos de cuatro clases de alas.

De arriba a abajo: de murciélago, de un reptil volador fósil, de un ave fósil, de un ave actual.

En los mamíferos se reconocen fácilmente los huesos principales de las patas, tanto en la aleta de la foca, como en el ala del murciélago, la pata del caballo o el brazo del hombre. En muchos, el número de dedos es menor de cinco, quedando reducidos a dos funcionales; los restantes pueden estar representados por vestigios, como en la vaca y el cerdo. En el caballo, los dedos se han quedado reducidos a uno solo, con vestigios de otros no visibles al exterior.

El examen de las figuras 1.^a y 2.^a mostrará que existe una notoria homología en toda la

serie de los miembros de los vertebrados y que al mismo tiempo el plan fundamental está diversamente modificado para adaptar los apéndices a los diversos modos de vida.

El brazo y la mano del hombre.

El hecho de que el hombre primitivo haya podido sobrevivir fué debido seguramente, en gran parte, a la utilidad de su mano. Sus adversarios animales estaban armados de colmillos, dientes, cuernos y garras; pero la naturaleza no ha provisto al hombre de armas semejantes. Su mano le permitió agarrar la maza o la piedra y utilizarla en su propia defensa; además, con sus manos construyó armas más eficaces, como la lanza o el arco y la flecha. Lo que el cerebro planeaba lo ejecutaba la mano; el hombre es el único animal que hace instrumentos con lo que le propor-

ciona la naturaleza y los usa habitualmente. Al ir avanzando la civilización continuó siendo una verdad el que la mano ejecuta lo que planea el cerebro: escritura, talla, pintura, construcción de casas, puentes y máquinas, etc.

El ejercicio de la mano es parte importante de la obra de educación. La escritura, el arte, el laboratorio, el taller y la instrucción en el ejercicio físico son especialmente adecuados para aquel fin, pero todas las actividades pueden contribuir a él.

Algunas coloraciones de adaptación.

Muchas adaptaciones llamativas de los animales están relacionadas con el color y el aspecto general. Estas adaptaciones son ordinariamente ventajosas al animal para salvarse de sus enemigos o procurarse la comida.

Todo el que haya cazado conejos sabe que el pelaje pardo gris de estos animales armoniza tan bien con lo que de ordinario les rodea que es raro ver un conejo mientras él no se mueva. En invierno, cuando hay nieve, el conejo es más visible sobre el fondo blanco, pero cuando está en sitios donde el blanco de la nieve queda interrumpido por piedras y matas, su color continúa disimulándole mientras está quieto. Los individuos de algunas especies próximas al conejo, se vuelven blancos durante el invierno y de este modo pasan inadvertidos a la observación. Estas particularidades de coloración, como parece que tienen valor para ocultar al animal, se llaman *coloraciones protectoras*. Un buen ejemplo de ellas nos lo ofrecen los saltamontes y otros ortópteros cuyas coloraciones, generalmente, armonizan bien con lo que les rodea. Las ranitas de San Antón están de ordinario tan bien disimuladas de este mismo modo que aun oyéndolas croar en una planta próxima es difícil encontrarlas.

Una adaptación muy llamativa de color vemos en ciertos reptiles y peces y, en alguna medida, en determinados batracios,

que son capaces de cambiar su color y hacer que éste se aproxime bastante al del objeto sobre el que ocasionalmente se encuentran. El ejemplo más notable es el camaleón, cuya capacidad en este punto se ha hecho proverbial. Los cambios de color en éste y otros animales se efectúan del modo siguiente: En la piel existen células que contienen pigmento; unas son pardas, otras verdes y otras amarillas. Estas células son contráctiles y están bajo el influjo del sistema nervioso. Si las células pardas y amarillas están contraídas cuando las verdes están extendidas, el animal es verde. De un modo semejante se pueden producir otros colores y matices dentro de la extensión que permitan los colores fundamentales.

Adaptaciones para prevenir.

Muchos animales que poseen medios eficaces de defensa son de colores vivos o, de otro modo, llamativos. Algunos han pensado que constituye una ventaja el prevenir así desfavorablemente a otros animales que por esto no molestan al poseedor de tales artificios. Son buenos ejemplos de esto los colores brillantes y las señales visibles de los abejorros y avispas, la viva coloración de algunas serpientes venenosas, las señales negras y anaranjadas del único lagarto venenoso, el monstruo del Gila; el cascabel de la serpiente de cascabel. Por otra parte, estos colores y otros medios faltan por completo en muchos otros animales en los que serían igualmente apropiados y valiosos.

Semejanza protectora y mimetismo.

Los bastoncillos de la India o insectos-palos son animales que por su color y forma parecen enteramente un tronquito y sólo el movimiento los traiciona; los mantis o adoratrices se parecen también mucho al tallo y hojas de una hierba gruesa; ciertas orugas, las llamadas agrimensoras, imitan muy bien las ramitas

de las plantas de que se alimentan; en estos y otros muchos casos es probable que la semejanza proteja a los insectos de los animales que de otro modo se alimentarían de ellos.

La mariposa llamada *monarch* es muy común y conocida en América; en otoño se ven gran multitud de ellas en migración; los pájaros no las molestan porque estas mariposas tienen gusto desagradable. En la misma región hay otra especie de mariposa, la llamada *viceroi*, que pertenece a un grupo muy distinto, pero que se parece a la *monarch*; la *viceroi* no tiene, para los pájaros, gusto desagradable e indudablemente escapa muchas veces a su captura porque la confunden con la *monarch*. Existen muchos casos semejantes de mimetismo, especialmente en los insectos.

CAPITULO II

ADAPTACIÓN Y COOPERACIÓN

Adaptaciones activas y pasivas.

Las diversas adaptaciones examinadas hasta aquí, son principalmente de estructura y por consiguiente fijas; no cambian para hacer frente a necesidades variables. El pelo que cubre a un perro es una adaptación a la temperatura del aire, que ordinariamente es inferior a la del cuerpo; es una adaptación fija y pasiva, que subsiste igual día tras día. La temperatura del aire no permanece igual: puede hoy hacer frío y mañana calor. Es necesario, por consiguiente, un tipo de adaptación que se acomode activamente a condiciones variables. Las adaptaciones de esta clase se relacionan de ordinario con procesos fisiológicos del cuerpo más bien que con su estructura. El jadear sirve para aquel fin en el perro, porque hace entrar grandes cantidades de aire fresco en el interior de los pulmones.

Los inviernos en los países del Norte son períodos dificultosos para muchos animales, no tanto por el frío como por la escasez de alimento. Las aves que pueden alimentarse de semillas logran encontrar comida en el invierno, y muchas de ellas, como una codorniz de Norteamérica, por ejemplo, permanecen en sus países del Norte durante aquella estación; pero cuando intensas heladas u otras circunstancias del clima les imposibilitan procurarse alimento perecen muchas. Las aves insectívoras, especialmente las que, como la golondrina, se alimentan cazando insectos al vuelo, no pueden procurarse alimento en la estación fría, y lo mismo se puede decir de patos, gansos y otras aves acuáticas, pues cuando el agua está helada no tienen a su alcance el ordinario alimento. Muchas, que de otro modo perecerían, emigran a sitios donde es posible obtener alimento. Las migraciones de las aves son interesantísimas, pero no es posible examinar aquí sus detalles.

Los mamíferos, ordinariamente, no emigran a grandes distancias, si bien los lobos varían de terrenos de caza según lo exige la abundancia o escasez de ésta, y en otro tiempo los bisontes de las llanuras se trasladaban al Norte y al Sur, en grandes rebaños, según lo exigían la estación y los pastos.

Hibernación.

En el otoño la marmota de Norteamérica come vorazmente y engorda mucho. Al llegar el tiempo frío, la vegetación de que se alimenta se vuelve menos succulenta y, por último, se seca o muere. Pero antes de que esto ocurra la marmota se ha retirado a su guarida subterránea y entra en un estado de letargo: su corazón late más despacio y con menos fuerza, la respiración es apenas perceptible, la temperatura es inferior a la normal y el cuerpo está rígido. En realidad, todas las actividades corporales quedan reducidas a un mínimo, pero no cesan por completo. Durante los meses de invierno la marmota permanece en este

estado de suspensión casi completa de vida. La energía necesaria para la débil actividad de sus procesos vitales es obtenida por la oxidación de la grasa, que se acumuló en el cuerpo en el otoño precedente. En la primavera, los procesos fisiológicos recobran su actividad típica y la marmota sale flaca de su refugio invernal. La hibernación ocurre también en otros animales de sangre caliente (el oso es un ejemplo notable de ello); las plantas también hibernan durante los fríos inviernos del Norte.

Si se exceptúan los peces y algunas otras formas acuáticas, la hibernación, en los climas fríos, es un fenómeno general para los animales de sangre fría: la temperatura de su cuerpo es prácticamente la del agua o aire que les rodea. Sin embargo, como irradian algún calor, si un buen número de ellos se acumulan en un lugar resguardado, pueden mantener una temperatura más alta que la del aire exterior, y así las abejas de una colmena pueden estar relativamente calientes durante el invierno.

Como existe una cierta temperatura a la que el protoplasma efectúa mejor sus actividades, de ello se sigue que los animales de sangre fría se van haciendo menos activos a medida que la temperatura desciende por debajo de aquélla para la que están adaptados: una culebra, por ejemplo, es siempre poco activa cuando hace frío, y cuando las temperaturas bajan al acercarse la estación fría, las culebras se retiran a sus guaridas y lugares resguardados donde entran en profundo letargo; las ranas se esconden en el limo, en el fondo de las charcas, donde permanecen sin movimiento durante el invierno.

Regulación de la temperatura en los mamíferos.

El protoplasma de los mamíferos está adaptado para funcionar a una temperatura relativamente alta. Esta varía un poco en las diferentes especies y en diferentes partes del cuerpo del mismo individuo, pero nunca se aparta mucho de 37° c. La temperatura normal del cuerpo humano es aproximadamente 36°,6

c. Una diferencia de unos pocos grados por encima o por debajo de la temperatura normal no sólo pone grave obstáculo a la actividad de las células, sino que si se prolonga mucho, produce la muerte de éstas.

Como a consecuencia del metabolismo se desprende siempre calor, la temperatura del cuerpo es de ordinario más elevada que la del aire que le rodea; la cantidad de calor producido es suficiente a las temperaturas ordinarias del aire para que el cuerpo se mantenga a la temperatura normal de trabajo. Si el cuerpo se enfría, un ejercicio más vigoroso elevará su temperatura; y por eso recurrimos ordinariamente al ejercicio muscular para calentarnos cuando sentimos frío. En este respecto el cuerpo de los animales es parecido al motor de un automóvil cuya temperatura aumenta por la oxidación que se produce cuando marcha. El cuerpo y el automóvil producen un exceso de calor que ha de perderse de algún modo, pues en otro caso, la temperatura se elevaría demasiado para que la actividad resultase eficaz. En el caso de los motores con refrigeración por agua, el calor es retirado por un sistema de circulación que lo lleva de los cilindros a un radiador de donde pasa al aire. El mecanismo de pérdida de calor en el cuerpo humano y en el de muchos animales es semejante, pero con algunos caracteres adicionales.

La circulación de la sangre sirve, en la pérdida de calor, exactamente para el mismo objeto que la circulación del agua en el motor de gasolina. Toma el calor de los músculos y otros órganos donde se produce en exceso y lo lleva a la piel, que actúa como un radiador. Existe aquí una adaptación fisiológica, pues la cantidad de sangre que corre por los capilares, está regulada según la necesidad de irradiación de calor. Esto produce la palidez del que está aterido, y la piel enrojecida del que necesita irradiar calor rápidamente. La pérdida de calor por el radiador del automóvil está ayudada por el movimiento de aire producido por el ventilador. El cuerpo de los animales no tiene nada se-

mejante, pero los animales se aprovechan muchas veces de las brisas y el hombre emplea artificios tales como el ventilador eléctrico para suplir la falta.

La superficie del cuerpo de los mamíferos, especialmente de los de gran tamaño, no es lo suficientemente grande para irradiar el calor tan rápidamente como se produce, si la temperatura del aire es casi tan alta como la del cuerpo. Cuando la temperatura del aire es superior a la del cuerpo, como ocurre en verano en los climas calientes, la irradiación del calor es completamente imposible. La mayor parte de los mamíferos poseen, para regular el calor, un mecanismo adicional: las glándulas sudoríparas. Sabido es que la evaporación del agua produce fresco, como todo el mundo ha experimentado al llevar un traje de baño húmedo. Como la cantidad de calor absorbida al evaporarse un centímetro cúbico de agua es casi 40 veces mayor que la empleada en calentar una cantidad igual de agua desde el punto de congelación hasta la temperatura del cuerpo, de ello resulta que la evaporación sea eficacísima para refrescar. El sudor va llegando a la superficie del cuerpo y se va evaporando continuamente; pero la cantidad es pequeñísima, excepto cuando una tendencia del cuerpo a sobrecalentarse estimula una más rápida secreción que da por resultado el sudor visible. Si por cualquier motivo la secreción del sudor es refrenada, la temperatura del cuerpo se eleva como en una fiebre. Un resultado análogo puede ocurrir si las glándulas funcionan debidamente, pero el aire es demasiado húmedo para que se evapore el sudor, aunque esta situación es muy poco frecuente.

Algunos mamíferos no sudan y tienen que lograr la refrigeración de otro modo. El perro lleva la lengua colgando y al jadear desprende mucho calor por sus pulmones.

Relaciones mutuas.

Cuando dos o más individuos de la misma especie viven jun-

tos como en las parejas, en las colonias de hormigas, en los enjambres de abejas o en la civilización humana, es necesaria una mayor o menor adaptación de cada individuo en relación con los otros. Aparte de estas relaciones entre miembros de la misma especie, el mundo está lleno de relaciones entre individuos de especies distintas. Ejemplos de ello son el que los animales dependen para el alimento de las plantas, y el que muchas clases de flores dependen de los insectos o de los pájaros en la polinización necesaria para poder fructificar.

Toda relación estrecha entre dos o más organismos se llama *simbiosis* (vida unida). Esta tiene lugar en diferentes formas. Unas veces no hay gran beneficio ni perjuicio para ninguno: ciertas plantas, como algunas orquídeas, viven sobre las ramas de los árboles sin sacar de ellos nada necesario para la vida y el árbol ni se beneficia ni se perjudica por la orquídea; algunos insectos viven en las resquebrajaduras de la corteza de los árboles sin causarles perjuicio; existe un pequeño crustáceo que vive dentro de una concha sin perjuicio para ninguno de los dos, y cuando la concha se cierra el crustáceo queda protegido de sus enemigos; bacterias inofensivas viven en la boca del hombre.

La segunda clase de relación es cuando ambos individuos obtienen ventajas: los líquenes son un buen ejemplo de ello; las bacterias fijadoras de nitrógeno de los nódulos del trébol obtienen los hidratos de carbono de las células de la raíz de esta planta, y el trébol absorbe los compuestos nitrogenados que las bacterias forman con el nitrógeno del aire. Ciertos pulgones o áfidos que viven en las raíces del maíz son cuidados durante el invierno por hormigas que en otoño los llevan a sus colonias y en primavera los devuelven a las raíces del maíz; a cambio de esto las hormigas se alimentan del líquido dulce segregado por los pulgones. Se ha llamado a estos pulgones *vacas de las hormigas*; las hormigas cuidan de ellos como el hombre de sus vacas; la relación es una especie de sociedad de beneficio mutuo, y es

frecuentemente denominada *comensalismo*.

La tercera clase de relación, menos frecuente que las otras, es cuando los obreros de una especie se convierten en esclavos de otra. Existen especies de hormigas que llevan a sus nidos pupas de obreras de otras especies. Como el instinto más desarrollado de estas últimas es trabajar, ejecutan la mayor parte del trabajo de la colonia hasta el punto que algunas de las especies poseedoras de esclavas son incapaces de mantenerse a sí mismas sin esclavas.

La última, pero no la menos importante, clase de relación mutua es aquella en la que un individuo recibe ventaja con detrimento de otro: es el *parasitismo*. El individuo que pierde es el *huésped* o patrón y el que gana el *parásito*. Un ejemplo conocido de muchos lectores es la cuscuta, que es una trepadora, sin hojas, de color amarillo y que frecuentemente forma una inextricable maraña en los sitios por ella infectados, en los campos de trébol u otras plantas; salvo recién germinada, no tiene relación alguna con el suelo; como no tiene hojas ni clorofila es incapaz de efectuar la fotosíntesis y depende por completo de su huésped, pereciendo cuando éste muere. El muérdago es otra planta parásita. Ejemplo de parásito animal es la tenia, de la cual existen muchas especies que viven en diversos animales. La tenia se adhiere en la pared del intestino del huésped, donde está rodeada de alimento digerido que es absorbido por la pared del cuerpo del parásito, al cual, por consiguiente, no le hace falta el tubo digestivo (del que carece por completo) y tiene poca necesidad de tegumento protector, de medios de locomoción y de sistema nervioso. El parásito lleva una existencia perezosa y está correspondientemente degenerado.

El medio viviente.

Una parte importantísima del medio en que se encuentran las plantas y animales está formada por otros animales y plantas; de

ellos se acaban de dar ejemplos, mas existen otras muchas relaciones menos íntimas pero de igual importancia.

Un bosque no comprende sólo árboles. Las matas que crecen bajo los árboles y los helechos y musgos que crecen en el suelo, son partes esenciales del bosque.

Cada uno de los elementos vivientes del bosque depende más o menos de los otros. Si los árboles son destruidos, los musgos y los helechos no sobrevivirán mucho tiempo en el suelo sin sombra, y los pájaros característicos buscarán otro sitio donde habitar. Si toda la vegetación baja es suprimida y quedan sólo los árboles, como cuando el ganado pasta en un bosque, el equilibrio natural del bosque se altera y hasta los grandes árboles pueden sufrir perjuicio. El bosque es una unidad y un organismo, aunque compuesto de muchos elementos distintos. La supresión de cualquiera de ellos producirá efectos que pueden alcanzar a unos pocos, a muchos y aun quizá a todos los elementos del bosque.

Hay varios tipos de bosque, y en cada tipo existe una asociación de plantas y animales que difiere de la que encontramos en los otros tipos. Así, en muchos caracteres, un bosque de hayas y arces es diferente de un bosque de abetos o de uno de alerces, y un bosque de Sequoia es diferente de uno de abetos. Igualmente hay muchos tipos de asociaciones en los prados y en el desierto.

El hombre es un elemento de muchas asociaciones y con muchas veces es un elemento dominante. Por su actividad puede cambiar toda la naturaleza de los bosques y de los prados. Con frecuencia, además, la obra del hombre puede ser destructora según lo atestiguan millones de hectáreas de tierras devastadas que estuvieron en otro tiempo cubiertas de bosque.

Existe un movimiento conservador que tiende a la restauración y aprovechamiento eficaz de algo parecido a las asociaciones que hubo en otro tiempo, en la tierra que no es adecuada para otros fines más productivos. En los terrenos mejores es más provechoso establecer asociaciones artificiales de nuestras plan-

tas cultivadas (establecer granjas y campos), pero hay extensiones enormes que sólo son adecuadas para bosques.

Adaptaciones morfológicas del hombre.

El hecho que el crecimiento del pelo es muy escaso en la mayor parte del cuerpo humano indica que el hombre está adaptado, en cuanto se refiere a su estructura, a un clima relativamente caliente. Del mismo modo que no tiene protección contra el frío, está también sin defensa contra sus enemigos. No tiene una piel resistente como la del rinoceronte, ni una armadura de placas como la que posee la tortuga, ni ligereza de pies que le permita escapar de los animales carnívoros; carece de garras, astas y agudos y venenosos dientes que le sirvan de armas ofensivas o defensivas; muchos animales le exceden grandemente en fuerza física. Si dependiese sólo de su constitución física, el hombre estaría limitado a los climas calientes y se vería obligado a esconderse de la mayor parte de sus enemigos animales.

La adaptación más importante del hombre a la vida en un medio hostil, es su cerebro. Este le capacita para idear, construir y usar instrumentos con cuya ayuda se ha provisto de vestido que supla al pelaje que la naturaleza le ha negado; construye casas en las que produce un clima artificial del que puede disfrutar en las regiones más frías; con las armas supera a todos los otros animales. Cuando el hombre se encuentra escasamente adaptado a su medio, adapta éste a sí mismo, y por ello la mayor parte de nosotros vivimos en un medio sumamente artificial.

El medio físico de hombre.

Aun cuando el hombre puede reformar su medio según sus gustos en medida mucho mayor de lo que es dado a todo otro animal, no evita con ello totalmente los efectos del medio. Sus industrias, su casa, su organización social y hasta sus ideas y

aspiraciones están influidas por éste.

Los naturales de Mongolia son jinetes nómadas porque su patria apenas ofrece recursos naturales excepto pastos y éstos son tan escasos que aquéllos han de seguir las manadas de un lugar a otro. La costa del Labrador ofrece buenas radas próximas a sitios de pesca, pero la tierra es demasiado pedregosa y el clima demasiado frío para la agricultura, y así los habitantes son pescadores y marineros. Un suelo fértil y sin piedras o tocones que sean obstáculo al arado ha hecho de gran parte del valle del Misisipí una de las regiones agrícolas más adelantadas del mundo. Temperatura, humedad, vientos, tormentas, sol, todos los factores del clima, influyen grandemente en los hechos del hombre. La geografía humana está fundada en grandísima parte en la geografía física del país.

El ambiente social del hombre.

Los seres humanos son parte importantísima del medio en que vive el hombre. Somos por naturaleza seres gregarios y nunca nos sentimos por mucho tiempo felices estando enteramente solos. Para la mayor parte, no puede haber castigo más severo que el confinamiento en soledad.

El hombre, como los animales y plantas, vive en grupos o comunidades. La dependencia mutua entre los hombres es estrechísima de modo que el ofender a un miembro de la comunidad es ofender, además, a muchos y puede ser una amenaza para todos. Una enfermedad contagiosa no es asunto de una sola persona o de una familia; es cuestión que interesa a toda la comunidad, pues todos están en peligro.

La ley fundamental de vida en comunidad es la cooperación, y ésta evidentemente depende de acomodación mutua o adaptación individual. De la importancia de esta adaptación por parte del individuo, es un buen ejemplo el caso de algunos emigrantes

que han tenido dificultad en adaptarse a costumbres nuevas; pudieron estar perfectamente adaptados a la vida del pueblo de donde vinieron, pero no encajan en el sitio nuevo, en gran parte porque no comprenden y no son comprendidos, y hasta que puedan encontrar medios de efectuar su adaptación, no serán en realidad miembros de la nueva comunidad en que viven. Las escuelas públicas del país deben asegurar en cada grupo humano un conjunto común de ideas e ideales suficiente para hacer posible la cooperación.

La comunidad mundial.

En los hombres primitivos la comunidad de intereses se extiende poco más allá del clan o la aldea. Su actitud ante los extraños es muchas veces de sospecha y de desconfianza. Como los medios de comunicación se han perfeccionado, el hombre ha llegado a entender y dar crédito a otros hombres en círculos más amplios. De este modo la cooperación se ha ido haciendo posible en grupos cada vez mayores, hasta que actualmente en lugar de clanes de pocas docenas de individuos, tenemos naciones de millones de habitantes con un gobierno cooperativo en un ambiente general de confianza.

Los miembros de otras razas y naciones distintas de la propia, continúan siendo mirados con mayor o menor recelo. Los asuntos internacionales se siguen llevando sobre una base de desconfianza más bien que de cooperación, siempre con la posibilidad de la guerra a la vista, aunque existe un satisfactorio desarrollo de gestiones y precedentes que tienden a la cooperación internacional. Pocas cosas pueden tener mayor importancia, en este estado del desarrollo social del hombre, que los movimientos educativos destinados a producir la mutua comprensión entre los ciudadanos de distintos países. En los casos de conflictos internacionales, muchas veces es menos importante para las naciones el decidir quién tiene razón, que el hacerse cargo mutuamente de

los distintos puntos de vista. Con la comprensión, viene la cooperación.

Los telégrafos, teléfonos y otros medios de comunicación internacionales están haciendo mucho para enseñarnos a todos que las otras gentes no son muy diferentes de nosotros. Actualmente muchos aficionados tienen aparatos de radio con los cuales pueden comunicar con personas de otros países. Cuando los jóvenes de todas las naciones conversen frecuentemente con amigos de todo el mundo, será difícil convencerles de que las naciones o razas a que pertenecen sus amigos sean fundamentalmente distintas de la suya: quizá se acerca la era de cooperación y paz mundiales.

CAPITULO III

CRECIMIENTO, DESARROLLO Y HORMONAS

Adaptaciones de crecimiento.

Si las adaptaciones al mundo externo son importantes en la vida de las plantas y animales, existen adaptaciones internas que son importantes también. Examinemos la cuestión del crecimiento: todo animal crece durante el período de juventud, pero cuando se acerca la madurez, el crecimiento se detiene; por consiguiente, cada órgano crece en una proporción bastante constante con el crecimiento de los otros órganos, de modo que la simetría del cuerpo se conserva. El renacuajo, larva de la rana, crece como tal renacuajo durante un tiempo considerable, pero cuando ha alcanzado un cierto tamaño surgen del cuerpo las patas, desaparece la cola, se desarrollan los pulmones y el renacuajo se hace rana; todos estos cambios ocurren con la correlación debida para producir la transformación completa de renacuajo a rana. Los experimentos han demostrado que si a un re-

nacuajo se le extirpa la glándula tiroides, el renacuajo sigue creciendo, pero no se transforma en rana; crece hasta alcanzar un tamaño gigantesco, pero no aparecen patas ni desaparece la cola. Por el contrario, si se alimenta a renacuajos con material procedente de glándulas tiroides de otros animales, se convierten en ranas mucho antes de lo que hubiesen hecho ordinariamente. Se ve, pues, que la glándula tiroides, o una sustancia producida por ella, ejerce una intervención muy señalada en el desarrollo.

Glándulas cerradas.

Muchas glándulas tienen conductos para salida de sus secreciones: el hígado tiene su conducto por el que sale la bilis, cada glándula sudorípara tiene un tubito que conduce a la superficie del cuerpo. La glándula tiroides no tiene conducto; la secreción formada en sus células pasa directamente a la sangre que circula en los capilares de esta glándula. Existen en el cuerpo otras glándulas cerradas; algunas de las más importantes son la tiroides, la pituitaria, las suprarrenales y determinadas partes del páncreas y de las glándulas reproductoras. Las glándulas de esta clase se llaman *glándulas endocrinas*, y sus secreciones contienen las *hormonas*.

La glándula tiroides

La tiroides es la mejor conocida de las glándulas endocrinas, está situada en la parte anterior del cuello, inmediatamente encima del esternón. En condiciones normales queda por bajo del contorno del cuerpo, hasta el punto que su situación no se nota fácilmente, pero cuando aumenta de volumen, como en la enfermedad del bocio, la situación de esta glándula es bien visible.

La hormona segregada por la tiroides ha sido aislada y estudiada y su composición química es conocida; se llama *tiroxina*, y lo más notable de su composición es que contiene yodo. Esta

hormona actúa principalmente sobre la intensidad del metabolismo. Cualquier discrepancia de la cantidad normal en la tiroxina de la sangre, da por resultado una alteración de la intensidad normal del metabolismo; y como el metabolismo es fundamental para todas las actividades del protoplasma vivo, cualquier perturbación del metabolismo puede tener graves consecuencias.

Si la tiroides es menor o menos activa de lo que debe ser o si está perjudicada por enfermedad, la cantidad de tiroxina en la circulación será deficiente y dará por resultado una reducción en el metabolismo, es decir, que la cantidad de alimento gastada por el cuerpo será menor, y como el individuo está inclinado a comer la cantidad usual de alimento, el consumo menor da por resultado un exceso que se acumula como grasa: es indudable que en un gran número de casos la tendencia a la obesidad es debida a una falta de actividad de la tiroides. Por el contrario, el exceso de actividad de la tiroides produce, naturalmente, una actividad metabólica exaltada; hace necesarias cantidades mayores de alimento y los que padecen este desarreglo son de ordinario voraces, pero siguen delgados a pesar de la gran cantidad de alimento ingerido.

El efecto del aumento del metabolismo debido a la excesiva tiroxina en la sangre se extiende al sistema nervioso y produce un aumento de actividad nerviosa, que no da por resultado una mayor capacidad mental, sino más bien irritabilidad, nerviosidad, inquietud mental y, en casos extremos, trastornos mentales. Como se debe esperar, la secreción insuficiente de tiroxina da por resultado una actividad nerviosa debilitada y pereza intelectual.

Algunos niños nacen con la glándula tiroides muy deficiente o totalmente inactiva y estos niños están destinados por la naturaleza a ser enanos idiotas, llamados cretinos; quedan pequeños e infantiles de aspecto aun cuando pueden vivir muchos años. Su

cerebro e inteligencia no se desarrolla más allá de la condición propia de la infancia; no llegan a adquirir la madurez sexual, es decir, que como en los renacuajos sin tiroides, estos niños, sin actividad tiroidea, no consiguen completar su desarrollo y transformarse en adultos.

Afortunadamente se ha descubierto que no es forzoso el permitir a la naturaleza que siga su camino con los cretinos y con los que sufren de deficiencia tiroidea debida a enfermedad o accidente en el transcurso de la vida. La tiroxina de otros animales parece ser igual a la formada en el cuerpo humano y, por consiguiente, es posible corregir la falta de tiroxina tomando extracto tiroideo obtenido de las glándulas tiroides de los animales del matadero. Las curaciones que se consiguen así, especialmente en los niños, parecen casi milagrosas.

Debe entenderse bien que la adición de extractos tiroideos a la alimentación no cura la enfermedad en el sentido de hacer que la glándula tiroides vuelva a su estado normal; nada se conoce capaz de producir este resultado, pero la tiroxina contenida en el alimento es absorbida, pasa a la sangre y sirve perfectamente para aquel objeto mientras dure el tratamiento, mas si se interrumpe por mucho tiempo el uso del extracto tiroideo, reaparecen los resultados de la deficiencia tiroidea.

El yodo y la glándula tiroides.

Como el yodo es un elemento esencial de la composición de la tiroxina, resulta que es necesario en la alimentación. Se ha visto que la cantidad total de tiroxina existente en el cuerpo humano en un momento dado es aproximadamente unos 22 centigramos; la cantidad de tiroxina que diariamente se necesita es aproximadamente medio miligramo. Es evidente que para formar la tiroxina sólo se necesita una cantidad pequeñísima de yodo, pero esta pequeñísima cantidad es absolutamente imprescindible. La falta de yodo produce, naturalmente, trastornos en

el funcionamiento de la glándula tiroides y muchas veces aumento de volumen de ésta y deficiencia en la producción de tiroxina. Este aumento de volumen se conoce con el nombre de bocio y es mucho más frecuente en las mujeres que en los hombres, aun cuando no se conoce la causa de ello.

La provisión de yodo del mundo está principalmente en el mar; los compuestos de yodo son solubles y, por consiguiente, cuando están en el suelo fácilmente son disueltos por el agua de éste y llevados a los océanos por el avenamiento natural de los continentes; de este modo se produce una falta de yodo en el agua y en los alimentos de que dispone el hombre. Esta falta es muy marcada sobre todo en algunas regiones y el bocio es, por consiguiente, una enfermedad regional.

En las regiones en que reina el bocio se hacen esfuerzos para evitar su presencia, ya añadiendo compuestos de yodo a las aguas, ya exigiendo a los niños de las escuelas que tomen pequeñas cantidades de estos compuestos. Muchas marcas de sal de mesa contienen actualmente compuestos yodados; pero el uso general y abundante de yodo no es hoy día recomendado por los médicos especialistas porque en ciertos tipos de desórdenes tiroideos produce mucho daño.

El prescribir yodo como medida preventiva o curativa no es cosa a la que deban aventurarse los padres o maestros por cuenta propia, pero unos y otros deben estar suficientemente informados sobre la cuestión para poder cooperar inteligentemente con el médico de familia, con los funcionarios de sanidad o con las autoridades escolares, cuando resulte conveniente el uso del yodo.

La glándula pituitaria.

Entre la base del cerebro y el techo de la boca, hay una pequeña glándula, o grupo de éstas, que recibe el nombre de

glándula pituitaria, la cual segrega por lo menos dos hormonas. La producida por la parte anterior de esta glándula parece tener señalado efecto en la regulación del crecimiento del esqueleto, y como el tamaño del individuo depende del crecimiento de los huesos, y especialmente de los huesos largos, se sigue de ello que si la glándula pituitaria produce demasiada hormona o continúa en actividad hasta demasiado adelante en la vida del individuo, puede éste resultar un gigante. Por el contrario, la secreción insuficiente de la hormona puede dar por resultado el enanismo que en este caso puede no ir acompañado de idiotez.

Las cápsulas suprarrenales.

Inmediatamente encima de cada riñón hay una *cápsula suprarrenal*. Su secreción fué la primera secreción interna que se aisló y analizó. Su hormona es hoy tan bien conocida que se prepara a partir del alquitrán de hulla y se vende con el nombre de *adrenalina*.

Una de las propiedades más notables de la adrenalina es el producir la contracción de las fibras musculares lisas (independientes de la voluntad), y así, poniendo adrenalina en una herida con hemorragia, producirá la contracción de las células musculares de las paredes de los vasos sanguíneos lesionados y se reducirá la emisión de sangre. Cuando existe en cantidad suficiente en la circulación, estimula la acción del corazón y al mismo tiempo reduce el tamaño de las arterias menores, aumentando así la presión sanguínea. Es capaz de producir efectos sobre los tejidos aun diluida en la proporción de una parte de adrenalina por 330.000.000 partes de agua.

Además de producir la contracción de las fibras musculares lisas, la adrenalina afecta al hígado. Una de las funciones de este órgano es convertir el glucógeno (que es un hidrato de carbono animal) en glucosa, haciendo así utilizables para las células los hidratos de carbono. La adrenalina, cuando es suficientemente

abundante, hace que el hígado ponga en libertad glucosa con más rapidez que de ordinario y de este modo aumenta la cantidad de energía utilizable.

La actividad de las cápsulas suprarrenales parece estar regulada por diferentes condiciones del cuerpo. El terror es una de las cosas que las estimula a una actividad mucho mayor; cuando un gato es espantado por un perro el efecto inmediato es la estimulación de las cápsulas suprarrenales. Los siguientes fenómenos asociados con el miedo se producen o refuerzan por el aumento de adrenalina en la sangre: los pelos del gato se ponen de punta debido a la contracción de músculos insertos en la base de los pelos; las pupilas se dilatan, la digestión se suspende y la cantidad de sangre en los órganos digestivos se reduce mucho, lo que permite el aflujo de sangre al cerebro y músculos; el corazón late con más rapidez y la presión sanguínea aumenta asegurando así, por otro medio, un mejor abastecimiento de sangre a los músculos y al cerebro; la cantidad de azúcar en la sangre aumenta y es utilizable para un supremo esfuerzo tanto en la huida como en la lucha. Reacciones análogas tienen lugar en el hombre.

El páncreas como glándula endocrina.

El páncreas es una glándula digestiva cuyo conducto desemboca en el intestino delgado, pero es al mismo tiempo glándula endocrina o de secreción interna, pues el páncreas, en realidad, es dos glándulas. Examinado microscópicamente se ven dos clases distintas de células; las células de una clase segregan el jugo pancreático que sale por el conducto pancreático, y las de la otra están agrupadas formando masas distintas llamadas *islotas de Langerhans*. Estos islotes no están unidos a conductos; constituyen una glándula endocrina en el interior del páncreas; su secreción se llama *insulina* y pasa directamente a la sangre. El papel de esta hormona parece ser el de regular el uso del azúcar en el

cuerpo y la cantidad de azúcar en la sangre. Cuando hemos comido un alimento que contiene proporción considerable de hidratos de carbono, éstos, por la digestión, se transforman en azúcares (principalmente glucosa) y son absorbidos pasando a la sangre, en la que aumentaría mucho el tanto por ciento de azúcar si no fuese porque el hígado convierte el exceso de azúcar en glucógeno que se almacena en el mismo hígado. Este órgano posee una enzima que tiene la propiedad de convertir el glucógeno nuevamente en azúcar y en rigor, si algo no lo impidiese, la enzima sería capaz de convertir el glucógeno de nuevo en azúcar tan de prisa como se va formando; pero aquí es donde interviene la acción de la insulina. Cuando la proporción de azúcar en la sangre aumenta, los islotes de Langerhans vierten más insulina a la sangre, y esta insulina tiene por efecto el impedir el cambio de glucógeno en azúcar, lo que permite el almacenar hidratos de carbono en forma de glucógeno. Otro hecho importante es que aun cuando el azúcar es el alimento productor de energía de las células preferido, éstas no parecen capaces de utilizarlo en ausencia de la insulina. Tiene además la insulina un tercer efecto sobre el metabolismo de las grasas: de la transformación química de éstas, se producen ciertos ácidos orgánicos venenosos que en ausencia de la insulina pueden acumularse en cantidad peligrosa.

Por causas que no se conocen, los islotes de Langerhans pueden enfermar y dejar de producir la cantidad suficiente de la insulina, lo cual no es un caso muy raro, pues se calcula que sólo en Norteamérica existe aproximadamente un millón de personas que padecen esto. Cuando el páncreas segrega la insulina en cantidad insuficiente, se acumula en la sangre una cantidad anormal de azúcar debido juntamente a la incapacidad de las células del cuerpo para consumir azúcar y a la deficiencia del proceso de retención en el hígado. El exceso de azúcar es eliminado por los riñones y aparece en la orina, lo que constituye uno

de los síntomas más conocidos de la enfermedad denominada *diabetes mellitus*. Como en este caso hay un grave trastorno en la utilización de los hidratos de carbono y de las grasas (que son dos de los tres tipos de alimentos), es evidente que todo el metabolismo del diabético tiene que estar grandemente perturbado. La enfermedad es muchas veces mortal cuando no se puede remediar la situación.

Hasta ahora no se conoce medio de restablecer el funcionamiento de los islotes de Langerhans, y por consiguiente los remedios de la diabetes se relacionan con los resultados más bien que con la causa de la enfermedad. El tratamiento en que antes se confiaba era una cuidadosa regulación de la dieta, caracterizada principalmente por la restricción de los hidratos de carbono. El cuidado en la dieta sigue siendo un valioso método de tratamiento; pero, desde que la insulina fué descubierta en 1922, es posible atacar la enfermedad de otro modo. La insulina se obtiene del páncreas de los animales de matadero, y se inyecta en las venas de los enfermos diabéticos, en los que realiza exactamente la misma función que desempeñaría la insulina producida en el páncreas del enfermo. Es necesario que se determine cuidadosamente la cantidad, de acuerdo con las necesidades del paciente, y las inyecciones se han de repetir diariamente durante la vida de éste.

Las células intersticiales.

La función primaria de las glándulas reproductoras es producir los gametos, y ciertos grupos de células en estas glándulas están dedicados a esta función. En los espacios o intersticios que quedan entre los grupos de células productoras de gametos hay otras que segregan una o varias hormonas que pasan a la sangre. Estas se denominan *células intersticiales* y tienen evidentemente el carácter de una glándula endocrina.

Las células intersticiales se vuelven más activas al acercarse

la pubertad y a sus hormonas se deben muchos de los cambios que tienen lugar en este período de la vida. Bajo esta influencia la laringe del muchacho se modifica y la voz baja aproximadamente una octava, se desarrolla pelo en la cara, se produce un rápido crecimiento y todo su cuerpo toma el aspecto de la madurez sexual; en la muchacha la pelvis se hace más ancha, tienen lugar otros cambios en el esqueleto, y la acumulación de grasa debajo de la piel produce la redondez de contornos, característica de la mujer.

También ocurren al mismo tiempo cambios en los caracteres mentales. Estos cambios, que tienen lugar en el período de la adolescencia, son de importancia máxima para el resto de la vida de cada individuo y deben constituir una preocupación especial de cuantos son responsables de la dirección de la juventud. No todos estos cambios se deben por completo a las hormonas intersticiales, pero estas hormonas tienen gran parte en ellos.

Las glándulas endocrinas y la personalidad.

La rápida revista precedente de las glándulas endocrinas mejor conocidas sirve para indicar que tienen una participación grandísima en ajustar las partes del cuerpo para un funcionamiento armónico. Estas glándulas influyen también en las reacciones nerviosas y en las actitudes mentales y a ellas pueden ser debidas en gran parte las diferencias entre los individuos, lo que llamamos personalidad. Ciertamente toda la personalidad de un individuo se altera si la tiroides deja de funcionar o si se destruyen las células intersticiales.

Los investigadores han señalado que determinadas diferencias en castas de perros, como la de tamaño entre un perro de lanas y un perro-lobo, parecen estar en correlación con diferencias en las glándulas endocrinas. Si es exacto que la gran variedad de castas de perros se debe a esta causa, puede también ser exacto, como se ha sugerido, que la causa primaria de las dife-

rencias que existen entre las razas humanas tenemos que encontrarla igualmente en dichas glándulas.

Dependencia mutua de las glándulas endocrinas.

Hasta aquí hemos tratado cada glándula como si fuese completamente independiente de todas las otras y, sin embargo, nada hay tan lejos de la realidad. Cada glándula es una parte del cuerpo que efectúa su metabolismo del modo ordinario y está sujeta a la influencia de las hormonas de la sangre de igual modo que cualquier otra parte del cuerpo; toda glándula, por consiguiente, puede ser influida por cualquier otra. De hecho, hay pruebas muy firmes que indican que en muchos casos una glándula está directamente estimulada por otra, y que, de este modo, el grupo entero de las glándulas endocrinas constituye lo que un autor ha llamado «una junta directiva unida» para la regulación de las actividades del cuerpo. Toda la cuestión de las hormonas y sus actividades es tan nueva que no es posible todavía conocer completamente la acción mutua de estas glándulas ni tener seguridad de su importancia relativa.

Además del corto número de hormonas indicadas hay otras varias cuya acción está bastante bien conocida. Existen también en el cuerpo un cierto número de estructuras inexplicadas que se sospecha sean glándulas endocrinas, pero cuyas funciones no se conocen aún con seguridad. El aumento de nuestros conocimientos en este sentido es de esperar que contribuya mucho a darnos los medios de regular desórdenes del cuerpo cuya naturaleza actualmente no es conocida.

Correlación química.

Si deseamos comunicar con un amigo, existen varios medios para hacerlo; dos de ellos nos servirán de ejemplo: podemos enviar un mensajero al amigo y podemos transmitir nuestro men-

saje por teléfono o telégrafo. La intervención en las actividades corporales por sustancias químicas, como son las hormonas, es el primer método; una hormona es un mensajero. La acomodación de las partes del cuerpo por este medio se ha llamado con frecuencia correlación química; como se ha indicado, es importante para ajustar unas a otras actividades de las diferentes partes del cuerpo. Junto a este mecanismo de acomodación por mensajeros (hormonas) existe un mecanismo de acomodación por medio de mensajes enviados por un sistema orgánico algo parecido a las líneas telegráficas: éste es, naturalmente, el sistema nervioso al que se deben las relaciones con el mundo exterior así como muchos fenómenos internos de acomodación. De él se tratará en varios de los capítulos siguientes.

CAPÍTULO IV

DE CUANDO SE FRUSTRA LA ADAPTACIÓN DE LOS ORGANISMOS

Naturaleza de las enfermedades.

En los capítulos precedentes, se ha dado una información incompleta del modo como los organismos están adaptados a lo que les rodea. Estos modos de adaptación son tan numerosos y tan eficaces que al pronto puede uno suponer que cada organismo está perfectamente adaptado a su medio propio y que están previstas todas las contingencias. Pero basta un poco de reflexión para recordar muchos defectos de adaptación que fueron señalados en los capítulos referentes al mecanismo de ésta. Así la mayor parte de los hombres reaccionan a un alimento que contenga una gran cantidad de hidratos de carbono, por la secreción de insulina (la hormona que produce la supresión del exceso del azúcar de la sangre); pero, en ciertos individuos, falla

esta adaptación protectora y el azúcar se acumula en la sangre con consecuencias desastrosas. Existen muchos ejemplos de adaptación imperfecta a las influencias del medio, con resultados más o menos graves, algunos de los cuales serán examinados en el presente capítulo.

Siempre que un organismo deja de adaptarse debidamente a su medio, las actividades de su protoplasma encuentran obstáculos. El funcionamiento anormal del protoplasma, como el metabolismo desordenado, por ejemplo, es capaz de producir cambios visibles en el funcionamiento del cuerpo como un todo: estos cambios son los síntomas de la enfermedad. Así, por ejemplo, en el cuerpo humano en estado de salud observamos un cierto número, por minuto, de latidos del corazón, que reconocemos como habitual y que llamamos normal. El número de pulsaciones por minuto varía con la edad, pero en la mayor parte de los adultos son unas 70 si la persona no ha estado haciendo ejercicio violento. Cuando el número de pulsaciones es mucho mayor o menor que este último, ello indica que hay algo anormal.

Uno de los síntomas más comunes de enfermedad es el aumento de temperatura, o fiebre. El mecanismo regulador de la temperatura, que fué descrito anteriormente, equilibra de ordinario con tal exactitud la pérdida de calor del cuerpo con la producción de calor por el metabolismo, que la temperatura, como lo muestra el termómetro, no varía más que décimas de grado. Este equilibrio puede ser destruido por alguna alteración de aquella parte del sistema nervioso que regula las glándulas sudoríparas; en este caso la transpiración disminuye mucho y la temperatura del cuerpo sube. Esta alteración de los centros nerviosos se debe muchas veces a venenos químicos en la sangre, producidos por bacterias, como en los catarros y otras enfermedades contagiosas. En todo caso, la fiebre no es la enfermedad, sino sólo el síntoma de algo más fundamental. Aunque es deseable el rebajar la temperatura del enfermo, esto sólo no cura la

enfermedad, y si no se quita la causa de la fiebre volverá la temperatura alta. Casi todas las enfermedades debidas a gérmenes producen fiebre en algún estado de su desarrollo, y por la inseguridad sobre la causa de este síntoma, todas las fiebres, especialmente en los niños, deben ser vigiladas. Al médico corresponde el descubrir la causa de los síntomas y el procurar eliminarla.

Nutrición defectuosa y desórdenes del metabolismo.

Algunas veces las células del cuerpo no reciben los materiales necesarios para su metabolismo. Los niños, por ejemplo, necesitan una gran cantidad de calcio, y a veces no hay calcio suficiente en su alimentación o el cuerpo no es capaz de utilizarlo. En ambos casos los huesos no se desarrollan debidamente y aparecen otros ciertos síntomas. Esta enfermedad se llama raquitismo. La incapacidad para utilizar el calcio, cuando existe en la alimentación, parece debida a la ausencia de una vitamina necesaria. La falta de otras sustancias puede igualmente perturbar el metabolismo de las células, y de aquí la necesidad de poner particular cuidado para que la alimentación contenga los elementos precisos.

Un ejemplo de perturbación del metabolismo que puede no ser debida a la alimentación, nos lo ofrece la anemia. En esta enfermedad el cuerpo deja de producir la cantidad habitual de hemoglobina, y, como el oxígeno es llevado en la sangre unido a la hemoglobina, resulta un abastecimiento de oxígeno insuficiente para los tejidos. Esta situación es muy grave a menos que se logre restablecer el metabolismo normal.

Intervención anormal de las hormonas.

Basta referirnos a los lugares en que se ha tratado de las hormonas para recordar las perturbaciones que se originan cuando, por cualquier causa, las hormonas no se producen en la cantidad

debida. La diabetes, el cretinismo y la enfermedad de Addison son ejemplos de padecimientos producidos por esta causa.

Intervención anormal del sistema nervioso.

El sistema nervioso es una máquina complicadísima y de equilibrio muy delicado; se comprende que cualquier destrucción de tejido nervioso tenga que interesar al sistema nervioso en su totalidad o en parte. En la parálisis infantil hay por lo común destrucción de tejido nervioso en la médula espinal. Las células dañadas son células motrices y se produce la parálisis de los músculos correspondientes. La misma explicación es aplicable a muchos otros tipos de parálisis y a la falta de sensibilidad en partes del cuerpo.

Puede haber alteraciones en el modo de funcionar las células nerviosas, debidas indudablemente a perturbaciones en el metabolismo de las células. Cualquier alteración en los cambios químicos que se producen en las células de un órgano tan complicado como el cerebro ha de perturbar seguramente el funcionamiento normal de este órgano y los resultados se manifestarán en forma de anomalías mentales y emotivas. Manifestaciones marcadas de esta clase se conocen como histerismo; otra enfermedad nerviosa de origen algo parecido es la neurastenia o postración nerviosa; en casos extremos puede resultar la locura. Los que padecen estas enfermedades, muchas veces se mejoran notablemente en un medio agradable, por una ocupación simpática o por sugestión mental. Estos métodos son empleados regularmente por los médicos, pero no se puede esperar que se produzca la curación si no es en unión de otros tratamientos que eliminen la causa al mismo tiempo que supriman los síntomas. El éxito que pueda tener la sugestión mental en suprimir los síntomas de las enfermedades nerviosas es la base de un buen número de devociones que intentan aplicar los mismos métodos a otros tipos de enfermedad o a todas las enfermedades. Si esto

da por resultado el descuidar los medios terapéuticos adecuados, las consecuencias para el enfermo pueden ser desastrosas.

Venenos.

Existen muchas sustancias químicas que obran directamente sobre el protoplasma y cambian su estructura o perturban sus actividades. Si una disolución de sal de Saturno (acetato de plomo) se mezcla con clara de huevo, ésta se coagula y se vuelve blanca casi como si estuviese cocida; al protoplasma le ocurre lo mismo y, naturalmente, cuando se ha modificado de un modo tan radical ya no es capaz de funcionar como protoplasma vivo. Sustancias como la indicada son venenos. Hay un gran número de sustancias que perturban el trabajo del protoplasma aunque no destruyan su carácter por completo como en el ejemplo antes indicado; muchas materias vegetales son de esta naturaleza, como la estriquina, morfina, la nicotina y la cocaína.

Venenos de diferente clase son los formados por bacterias y otros gérmenes de enfermedades, y así es como muchos de éstos producen efectos dañinos en el organismo. Es también posible que éste pueda envenenarse con sustancias formadas por el cuerpo mismo, cuando su metabolismo es desordenado o si los productos de desecho no son debidamente eliminados. Los venenos producidos por las bacterias se llaman *toxinas* y son sustancias de las más venenosas que se conocen. Son de naturaleza semejante al veneno de las serpientes, pero algunas son aún más activas: el hombre puede morir por 30 ó 40 miligramos de estriquina, por 4,4 miligramos de veneno de cobra, o por 0,23 miligramos de la toxina del bacilo que produce el tétanos.

Gérmenes y enfermedades que producen.

Muchas enfermedades se deben a parásitos microscópicos a los que colectivamente se aplica el nombre de gérmenes. Estos

microorganismos pueden ser vegetales o animales; la mayor parte de ellos son bacterias o protozoos.

Aun cuando muchos microorganismos son productores de enfermedades, no hay que suponer que todos sean dañinos aun viviendo en el cuerpo. En realidad, todos nosotros tenemos en nuestro cuerpo millones de bacterias a las que estamos tan bien adaptados que no nos producen daño; algunas pueden hasta ser útiles. Las bacterias son siempre abundantes en la boca y pululan en el tubo digestivo.

Envenamiento por los alimentos

Ciertas bacterias que se desarrollan en los alimentos ordinarios y que son causa de su descomposición, pueden producir sustancias venenosísimas. Si se ingieren alimentos en los que se han desarrollado estas bacterias, se pueden producir síntomas de envenenamiento violento, que se conoce con el nombre de envenenamiento por *tomañas* o con la denominación general de envenenamiento por alimentos alterados. Es importante evitar el uso de alimentos que parezcan descompuestos o que se sospeche que han sido objeto de acciones bacterianas.

Enfermedades infecciosas.

Las especies de microorganismos capaces de desarrollarse como parásitos en los animales o en las plantas pueden producir daño, ya por acumularse en tales cantidades que obstruyan los vasos sanguíneos pequeños o los vasos de las plantas, ya por la destrucción positiva de los tejidos o por la producción de toxinas. Las enfermedades que resultan de la multiplicación de gérmenes en un animal o planta se llaman enfermedades infecciosas.

Un catarro ordinario es una enfermedad infecciosa: se desarrollan y multiplican bacterias en las membranas de la boca y garganta; producen toxinas que son absorbidas por la sangre y

que por su efecto sobre el sistema nervioso producen síntomas como temperatura elevada, pulso rápido y dolores de cabeza. Al toser se lanzan gérmenes al aire, de donde pueden ser aspirados por otra persona al respirar, y producirse de este modo otro caso de infección.

Cuando una herida queda expuesta al aire es seguro que las bacterias entrarán en ella, y que con humedad, alimento y temperatura favorable se multiplicarán y prosperarán; de ello resulta inflamación local, y la producción de toxinas puede afectar al cuerpo entero. Si ocurre que las bacterias son de un cierto tipo virulento, la infección puede extenderse a partir de lo que parecía insignificante herida y comprender una gran parte del cuerpo. Estas infecciones extensas se llaman a veces envenenamientos de la sangre y son gravísimas.

Los diviesos y granos representan infecciones locales inmediatamente debajo de la piel; un absceso es una infección más profunda. En todos estos casos, y comúnmente en las heridas infectadas, hay formación de pus que resulta de la acción del cuerpo al combatir las bacterias. Cuando estas bacterias invaden el cuerpo, los glóbulos blancos de la sangre se acumulan en gran número en el punto de infección y engloban y digieren las bacterias invasoras como las amebas engloban y digieren las partículas de alimento; gran número de glóbulos blancos son destruidos en el combate, pero de ordinario logran vencer a los invasores; los glóbulos blancos muertos, las bacterias muertas, células del cuerpo muertas y parcialmente descompuestas y otros restos del combate constituyen el pus que se encuentra en las heridas, diviesos y otras partes. Si la resistencia opuesta por los glóbulos blancos no tiene buen éxito, la infección se extiende y puede hacerse general.

Inmunidad.

Cuando un animal muere su cuerpo es atacado inmediata-

mente por bacterias que lo destruyen con rapidez. Mientras el animal vive las mismas especies de bacterias están presentes, pero no pueden vencer las defensas del cuerpo; es decir, que el animal vivo es inmune a las bacterias de estas clases determinadas; o usando el lenguaje del capítulo anterior, diríamos que el animal está completamente adaptado a estas bacterias. Todo animal o toda planta es inmune a muchas —a la mayor parte— de las bacterias; el número de especies de bacterias que pueden causar perjuicio a cada animal o planta es relativamente pequeño.

La inmunidad generalmente es específica, es decir, que bacterias que causan graves perturbaciones en organismos de una especie, pueden no tener efecto alguno sobre los de otra. El hombre se infecta con los gérmenes de cólera o de la tifoidea al beber agua que los contenga, pero otros animales beben impunemente esta agua infectada. Los animales inferiores no contraen la tos ferina, la difteria, el sarampión ni la fiebre tifoidea, mientras que el hombre, en cambio, es inmune a la fiebre de Texas, al cólera de las gallinas y otras muchas enfermedades.

Existe mucha variación en la inmunidad individual. En toda epidemia de enfermedad contagiosa hay algunos individuos que aun exponiéndose a la enfermedad no son atacados por ella o lo son tan sólo muy ligeramente. También parece que existen diferencias debidas a la raza en la inmunidad o resistencia a ciertas enfermedades. Así, el sarampión no es muy temible en la raza blanca, pero en los naturales de las islas del mar del Sur ocasiona un tanto por ciento muy grande de muertos.

La inmunidad de que hemos hablado hasta ahora es la natural; pero la inmunidad puede también ser adquirida durante la vida del individuo. Entre las enfermedades que confieren inmunidad duradera están el sarampión, las paperas, la escarlatina, la difteria, la varicela, las viruelas, el cólera, la peste, el tifus, la fiebre tifoidea y la fiebre amarilla. Otras enfermedades van se-

guidas de una inmunidad temporal.

Una gran parte de las prácticas sanitarias y médicas modernas se refiere a la producción artificial de la inmunidad. Las enfermedades de que trataremos, como ejemplos de los principios generales de que hablamos, serán la viruela, la difteria y la fiebre tifoidea, porque figuran entre las mejor conocidas.

Vacuna contra la viruela.

En otro tiempo la viruela fué una de las más terribles plagas del género humano. Puede decirse que todo el mundo la padecía en algún período de su vida y en algunas epidemias llegaban a morir el 50 por 100, los que sobrevivían quedaban con la cara llena de feas cicatrices, y tan común era la enfermedad que constituía una excepción la persona que tenía la cara sin señales,

Como nadie podía esperar el escapar a la viruela, fué práctica de algunas familias el inocular a los niños con material de las pústulas de aquellos enfermos en que la enfermedad se presentaba leve, para que los niños contrajesen la enfermedad, probablemente en una forma leve, y quedasen así inmunizados para toda la vida. Este método tenía buen éxito en cuanto a conseguir la inmunidad, pero iba acompañado de considerable peligro, pues la enfermedad producida por inoculación no era siempre benigna y porque el nuevo caso era una fuente más de infección para otros.

La práctica actual de vacunación nació de la observación de que las vaqueras que adquirían de las vacas una enfermedad bastante parecida a la viruela, pero mucho menos virulenta (*cow-pox*), quedaban protegidas en lo sucesivo contra la viruela. El método moderno consiste en inocular el material que contiene los gérmenes en una escarificación de la piel. Las pequeñas pústulas localizadas que se producen son la única señal externa de la enfermedad y los síntomas no son temibles si se tiene cui-

dado de evitar otras infecciones. La vacuna da inmunidad contra la viruela, pero no permanente; por lo que es conveniente repetir la vacunación después de un intervalo de siete a diez años. La mortalidad por viruela es pequeña en todos los países en que se emplea habitualmente la vacunación. Esta se practicó por vez primera en Inglaterra, por Jenner, en 1796.

Difteria.

El bacilo de la difteria es una de las bacterias que causan daños por la producción de una toxina que es uno de los venenos más poderosos que se conocen. Por fortuna para nosotros, cuando la toxina de la difteria está presente en el cuerpo, las células de éste son estimuladas a producir una sustancia que contrarresta los efectos de la toxina: esta sustancia se denomina *antitoxina*. Así, pues, cuando uno tiene difteria existe una lucha entre los gérmenes de enfermedad que producen la toxina y las células del cuerpo que están produciendo la antitoxina; si éstas pueden hacer antitoxina con la rapidez suficiente, los gérmenes son vencidos y el enfermo se cura; pero si los gérmenes prevalecen el enfermo es intoxicado y muere.

Las células del cuerpo no empiezan a producir antitoxina hasta unos seis días después que la toxina empezó a producirse. Naturalmente, los gérmenes de la enfermedad tienen sobre el cuerpo la ventaja de la salida, y éste muchas veces no puede alcanzar a aquéllos en la carrera. Evidentemente una medida curativa adecuada tiene que ser inyectar en la sangre una cantidad de antitoxina que ayude a las células del cuerpo en la lucha. Esto ha de ser especialmente útil en los primeros estados de la enfermedad cuando las células no han empezado todavía a hacer la antitoxina. La inyección de antitoxina es actualmente una práctica casi acostumbrada en el tratamiento de los casos de difteria y de este modo se han reducido mucho los de muerte.

La toxina de la difteria se obtiene haciendo desarrollar las

bacterias en frascos. Cuando los cultivos contienen una cantidad suficiente de toxina, se matan las bacterias y se quitan por filtración, quedando la toxina en disolución. Se inyecta en las venas de un caballo una pequeña cantidad de toxina y el animal reacciona formando antitoxina; las inyecciones se repiten aumentando la fuerza hasta que la sangre del caballo ha formado la cantidad máxima de antitoxina; se saca una parte de la sangre de las venas del caballo y de esta sangre se prepara un suero que contiene la antitoxina. Después de cuidadosamente comprobado de varios modos, el suero se utiliza para inyecciones antitoxínicas.

Es importante el que la antitoxina se utilice verdaderamente al principio de la enfermedad, pues hecho así se pronostica el restablecimiento en todos los casos. Un retraso, aun de pocas horas, en empezar el tratamiento reduce mucho las probabilidades de éxito. En los cinco años siguientes al descubrimiento de la antitoxina, los fallecimientos por difteria quedaron reducidos a la mitad y la proporción continúa bajando.

La inmunidad proporcionada por la inyección de antitoxina dura sólo un corto tiempo, por lo que el método no se puede usar para obtener de antemano la inmunidad y evitar así la aparición de la enfermedad. La inmunidad permanente sólo se consigue cuando el cuerpo mismo hace la antitoxina. Un método de lograr este resultado está actualmente en uso; a la persona que debe ser inmunizada se le inyecta toxina de difteria a la que se ha añadido cantidad suficiente de antitoxina para impedir todo efecto peligroso de la toxina; la toxina estimula al cuerpo a producir antitoxina, y en el transcurso de algunos meses se produce la inmunidad que dura, por lo menos, diez años y quizás toda la vida. Como la susceptibilidad para la difteria no es muy grande excepto durante la niñez, si todos los niños fuesen inmunizados, la difteria pronto desaparecería. Actualmente lo único necesario para conseguir este resultado parece ser la educación de las ma-

sas de población de manera que quieran utilizar los conocimientos biológicos de que hoy disponemos.

Fiebre tifoidea.

Las bacterias que son causa de la fiebre tifoidea están en el tubo digestivo de los que padecen esta enfermedad. Se encuentran en gran número en los excrementos de los tíficos y de este modo, en las aguas residuales, van a parar al agua de los ríos y a veces también a los pozos y las fuentes. Ordinariamente entran en el tubo digestivo de las nuevas víctimas por la comida y la bebida. Las principales fuentes de infección han sido hasta ahora el agua contaminada por las residuales, los alimentos visitados por moscas que van a materiales contaminados y la leche procedente de granjas en que existe la fiebre tifoidea. El mayor cuidado en el agua, leche y otros alimentos y la creciente escasez de moscas hacen disminuir la tifoidea.

La protección contra la tifoidea se obtiene por vacunación. Las bacterias se cultivan en tubos o frascos, se matan por el calor y se inyectan en el cuerpo. Como las bacterias están muertas no pueden producir la enfermedad, pero sus toxinas hacen que el cuerpo produzca una antitoxina que subsiste en él unos dos años, durante los cuales queda defendido contra los resultados de la invasión por las bacterias de que hablamos.

La eficacia de la vacuna contra la tifoidea y una mayor higiene queda demostrada por el hecho que en el ejército de los Estados Unidos el número de casos por 100 000 hombres, del año 1901 al 1915, se redujo de 674 a 2. Durante la guerra de los Estados Unidos con España en el ejército norteamericano hubo un caso de tifoidea por cada 7 hombres en servicio y un fallecimiento por cada 77 hombres; mientras que en la Gran Guerra, en el ejército, hubo un caso por cada 3.756 soldados y un fallecimiento por cada 25.641 soldados.

Enfermedades debidas a protozoos.

Las bacterias no son los únicos microorganismos causantes de enfermedades en el hombre y los animales. Un cierto número de protozoos forman parte de los gérmenes productores de enfermedades. Quizás el mejor conocido es el microorganismo del paludismo que se encuentra en los glóbulos rojos de los hombres infectados.

El organismo del paludismo no se transmite directamente de un enfermo a otra persona, sino que es sorbido por un mosquito determinado (*Anopheles*) cuando chupa la sangre de una persona enferma de paludismo. En el cuerpo del mosquito el organismo causante del paludismo pasa por la fase sexual de su vida, y unas dos semanas después gran número de estos organismos llegan a las glándulas salivares del insecto y son inyectadas en la sangre de otra persona cuando el mosquito vuelve a chupar sangre para alimentarse.

El medio evidente de prevención es la destrucción de los mosquitos. Como crían en charcas y estanques, aquello se puede efectuar por medidas tales como desecarlos o cubrir de petróleo su superficie o poblándolos de peces que coman las larvas. Los experimentos han demostrado que en algunas regiones de paludismo el coste del exterminio de los mosquitos es positivamente menor que el de las medicinas y tratamiento médico de las víctimas de la enfermedad. Mosquitos y paludismo constituyen un lujo que las sociedades modernas no pueden permitirse.

La fiebre amarilla, la enfermedad del sueño, de Africa, y la sífilis son también debidas a protozoos.

Algunas de las enfermedades producidas por protozoos se tratan por medio de drogas, que tienen acción más enérgica sobre estos parásitos que sobre las células del cuerpo. Así la quinina se emplea contra el paludismo, el salvarsán para la sífilis y otras drogas para la enfermedad del sueño.

Insectos y enfermedades.

La intervención de los insectos en propagar enfermedades, ha sido ya señalada en relación con la fiebre tifoidea y el paludismo. Existen otros muchos ejemplos: la fiebre amarilla es transportada por un mosquito; la mosca lleva toda clase de suciedad de un sitio a otro y tiene importancia, sobre todo, como portadora de enfermedades del tubo digestivo; los piojos transmiten el tifus exantemático; las pulgas llevan la peste y de otros insectos se sabe que difunden diversas enfermedades del hombre y animales.

Sanidad pública.

Muchas de las precauciones necesarias para conservar la salud son de tal naturaleza que no se pueden tomar con éxito por las familias o individuos aislados; es imposible para una familia protegerse contra el paludismo destruyendo los mosquitos, a menos que interviniesen en todos los lugares en que crían, hasta una considerable distancia en todas direcciones, lo que no es factible a no ser que la familia viva en un sitio solitario. Como en muchos países la población se va haciendo de día en día más urbana que rural, los problemas sanitarios van siendo cada vez más de adaptación mutua. En la economía rural aislada se puede establecer un basurero o una letrina casi del modo que se quiera sin perjudicar a nadie más que a los de la propia casa. En las poblaciones cada uno tiene que acomodar estas cosas a la conveniencia del bien común. Por esta razón cada agrupación urbana tiene disposiciones sanitarias y funcionarios de higiene pública que inspeccionen si estas disposiciones son obedecidas. En interés tanto de la casa como de la escuela se debe cooperar con los funcionarios de sanidad de todos los modos posibles.

La acción de la escuela es de suma importancia en materias relativas a la sanidad pública. En último término la formación de las leyes y su implantación dependen de la opinión pública, y

sólo mediante la educación es como el pueblo llegará a comprender la naturaleza de las enfermedades y las razones de las medidas preventivas que los conocimientos actuales nos permiten utilizar.

Cuarentena e inspección médica.

Muchas enfermedades infecciosas se propagan pasando directamente de una persona enferma a otra sana; por ejemplo, damos la mano a una persona que tiene catarro; los gérmenes están en su boca y nariz y como es probable que haya llevado a ellas ocasionalmente las manos, es casi seguro que éstas se encuentren contaminadas; si le damos la mano, algunos de los gérmenes pasarán a nuestra mano y en cuanto la llevemos a la boca, los gérmenes pasarán a ésta y es fácil que se produzca la infección. Igualmente si nos encontramos junto a una persona que tose sin hacer el uso adecuado del pañuelo, estamos igualmente en peligro de aspirar algunos de los gérmenes expulsados con el aire. En los niños, los cambios de la goma de mascar (*chewing-gum*), «pirulís», lapiceros, etc., y también el uso de vasos comunes para beber y de toallas comunes constituyen medios directísimos de transmisión de gérmenes de enfermedades.

Para impedir que se comuniquen las enfermedades directamente de unas personas a otras, la mayor parte de los países han establecido leyes de cuarentena. Cuando se cumplen rigurosamente, la persona que padece una enfermedad contagiosa es aislada en una habitación enfermería con otra que la atienda y a nadie, excepto al médico, le es permitido entrar y salir. La casa entera y la familia entera pueden quedar incluidos en la cuarentena; esto ocasiona mucha molestia y a veces pérdidas materiales a la familia, pero ello es necesario para el bien común. Las leyes de cuarentena deben estar dispuestas de tal modo que produzcan la menor molestia dentro de lo compatible con la protección del público, pero se deben cumplir con rigor. La opinión

pública ha de condenar severamente el quebrantar la cuarentena y exponer a otras enfermedades y hasta quizás a la muerte.

En tiempo de epidemia la inspección médica diaria de los alumnos sospechosos, y si es posible de todos los alumnos en las escuelas, es un medio importante de detener la epidemia en los niños, y si se verifica debidamente por los funcionarios de sanidad da por resultado el pronto descubrimiento y aislamiento de cada caso, asegurando el inmediato tratamiento del enfermo y las mínimas probabilidades posibles de transmisión. Donde exista una inspección médica competente, muchas veces es mejor mantener las escuelas abiertas con la inspección adecuada, que cerrarlas y permitir que los niños se junten tanto como si fuesen a la escuela y que jueguen sin inspección. Es criminal por parte de los padres el enviar a la escuela un niño sospechoso de estar atacado de una enfermedad contagiosa. El hacer esto da por resultado la enfermedad y algunas veces la muerte de otros niños y es, por consiguiente, poco menos que un homicidio, aun cuando casi nadie se dé cuenta de que el hecho es tan grave.

Campañas sanitarias.

La prevención de las enfermedades exige la cooperación del público. Las leyes son útiles en cuanto expresan el sentimiento del pueblo sobre una materia, y su utilidad en el campo de la sanidad pública está en proporción del sentimiento público que haya tras ellas; por este motivo, en un esfuerzo para reducir la mortalidad producida por una enfermedad determinada, lo primero esencial es la educación del público.

Ricos y pobres, ilustrados e ignorantes, habitantes del campo y de la ciudad, a todos hay que mostrar que las enfermedades son una seria amenaza, pues todos propendemos mucho a pasar fácilmente por alto aquello con lo que hemos estado siempre familiarizados. A todos hay que enseñar que las enfermedades pueden ser atajadas, pues la mayor parte de nosotros somos lo

suficientemente fatalistas para aceptar, como destino común del hombre, las enfermedades a que estamos acostumbrados. A todos hay que informar sobre los síntomas de las enfermedades para que puedan ser reconocidas en sus primeros estados, y todos debemos tener algún conocimiento de los métodos científicos positivos de prevenirlas y curarlas, de modo que podamos cooperar inteligentemente con los médicos y autoridades sanitarias. Sobre todo está la necesidad de despertar el entusiasmo público de manera que cada uno sienta que es parte de un gran movimiento.

El pedir el entusiasmo público es justo: somos seres sociales y la mayor parte de nosotros trabajamos mejor con nuestros compañeros que solos. En la prevención de las enfermedades la acción colectiva es de particular importancia; pues, de otro modo, mientras una persona está tomando precauciones contra la difusión de la enfermedad, una docena están haciendo precisamente aquello que servirá para diseminarla. Necesitamos tener la seguridad de que los demás están trabajando con nosotros y no contra nosotros.

La historia de la tuberculosis en los Estados Unidos durante los últimos treinta años nos ofrece un ejemplo claro del resultado de una campaña unida contra una sola enfermedad. En 1900 la tuberculosis era todavía la primera entre las causas de muerte y hacía más de 200 víctimas al año por cada 100 000 habitantes; en 1928 la mortalidad anual por tuberculosis quedó reducida a unos 70 por 100.000, lo que coloca a esta enfermedad en el quinto lugar en vez del primero. Se ha pronosticado que dentro de diez años habrá pasado a figurar entre las causas menos importantes de defunción con una mortalidad menor de 40 por 100.000. El éxito ya logrado ha sido mayor que el que pudo esperar el más optimista al principio de la campaña.

La tuberculosis es una enfermedad crónica típica cuyo curso dura varios años y por ello gran número de personas resultan ex-

puestas a la infección. No se conoce un remedio específico de ella, como la antitoxina para la difteria y la quinina para el paludismo; el cuerpo no adquiere inmunidad y no crea contra la tuberculosis resistencia como contra los gérmenes de otras enfermedades; los únicos medios terapéuticos conocidos hasta ahora están basados en regímenes de vida que tienden a proporcionar las mejores condiciones físicas y a reunir así toda la resistencia que el cuerpo puede ofrecer. El restablecimiento es por consiguiente lento y si la enfermedad ha arraigado la curación total es muy incierta. El medio principal de defensa contra la tuberculosis es por consiguiente la prevención de su difusión. Evidentemente la naturaleza de esta enfermedad no hacía abrigar la esperanza de resultados rápidos y el éxito que se ha obtenido es por tanto el más alentador. ¿No tenemos que esperar obtener un éxito aún mayor en la lucha contra otras enfermedades infecciosas?

Las enfermedades infecciosas no son un mal necesario.

Si todos los habitantes de un país estuviesen inmunizados contra la difteria y si todos los niños fuesen igualmente inmunizados en los primeros meses de su vida, la enfermedad pronto se extinguiría por falta de víctimas; si después el país pudiese protegerse contra la importación de la enfermedad, dejaría de existir el peligro de ésta y la inmunización resultaría innecesaria. Es decir, que poseemos conocimientos suficientes para podernos librar de esta amenaza si somos lo bastante inteligentes y enérgicos para aplicar nuestros conocimientos. ¿Es mucho esperar que esto llegue a realizarse pronto en algunos países?

Aun cuando no conocemos todas las enfermedades infecciosas tan bien como conocemos la difteria y aunque no tenemos para todas ellas medios efectivos de inmunización, sabemos, sin embargo, lo bastante para reducir mucho los estragos de todas y para suprimir algunas por completo. La hidrofobia o rabia ya no existe en la Gran Bretaña; el paludismo ha sido desterrado de

extensos territorios; la tuberculosis está muy reducida en algunos países y la fiebre tifoidea ha desaparecido casi por completo de las ciudades mejor gobernadas.

Existen quienes tienen una visión aún más amplia de las posibilidades que están ante nosotros. Si es factible suprimir una enfermedad dentro de una zona limitada, ¿por qué no se ha de poder exterminarla en toda la tierra? Se ha empezado ya brillantemente con la fiebre amarilla; siguiendo el éxito de los métodos norteamericanos en Cuba y Panamá, se ha hecho una campaña internacional contra esta enfermedad; en la Habana la hubo siempre durante cuatro siglos, y hoy día esta ciudad es un refugio saludable y no ha habido un solo caso en casi una generación. De un modo semejante la fiebre amarilla ha quedado suprimida en muchos puertos de América del Norte y del Sur y parece probable que dentro de poco tiempo haya desaparecido de dicho continente. Existe todavía en algunas partes de África, pero se lucha contra ella e indudablemente quedará también exterminada allí. Parece, pues, posible que la presente generación vea la extinción de la fiebre amarilla y, con ello, la primera victoria completa de la humanidad en su lucha milenaria contra las enfermedades. De este modo el hombre adapta el medio a sí cuando no puede él adaptarse al medio. De todos los seres vivos, sólo el hombre, por su inteligencia que le permite razonar, es capaz de hacer del mundo un lugar seguro en que vivir: esto llegará el día en que las enfermedades infecciosas sean desconocidas.

PARTE SEGUNDA

EL MECANISMO DE LA REACCIÓN

CAPÍTULO V

ESTIMULO Y REACCIÓN

Irritabilidad y adaptación.

En el capítulo I se señaló que los organismos viven en un medio que, en cierta medida, les es hostil y que los destruiría si no estuviesen adaptados a él. Esta adaptación está lograda, en parte, por caracteres de estructura como los que se describieron; en parte, por la intervención de las hormonas, y en parte, por reacciones fisiológicas a los cambios en el medio. Este último método es de especial importancia porque permite a un organismo mantenerse adaptado a un medio variable. Todos los animales y plantas poseen mayor o menor capacidad de adaptarse activamente a condiciones variables; así, es fácil observar que las hojas de una planta pueden cambiar de posición con relación a la luz y que la mayor parte de los animales se trasladan de un sitio a otro respondiendo a cambios de calor, luz o alimento. La capacidad de reaccionar de este modo es más visible en los animales que en las plantas, pero quizás no más importante.

La reacción a cambios en el medio es la manifestación de una propiedad fundamental del protoplasma: la irritabilidad. El protoplasma vivo reacciona a ciertos estímulos: como la luz, el calor, el contacto y las corrientes eléctricas. Si un *Paramecium* (animal unicelular con la superficie cubierta de diminutas pesta-

ñas vibrantes, cuyo rápido movimiento le sirve para moverse en el agua) (fig. 3.^a), tropieza al nadar con un objeto sólido, reacciona retrocediendo y partiendo en otra dirección.

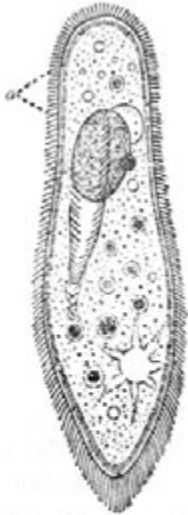


Fig. 3.^a — *Paramecium*, muy aumentado, visto por el lado ventral.

a, pestañas vibrantes.

En este caso el estímulo nace del contacto de extremo anterior de la célula con el objeto sólido, mas el cambio de movimiento es debido a la acción de las pestañas vibrantes distribuidas por la superficie de la célula; pero como la mayor parte de éstas no están en el extremo frontal y, por consiguiente, no estuvieron en contacto con el objeto, es evidente que el estímulo es transmitido desde el punto de contacto, por el citoplasma, hasta las pestañas vibrantes. La operación completa comprende, por tanto, tres partes: estímulo por contacto, transmisión desde el punto de estimulación a las pestañas y acción por las pestañas, que constituye la reacción al estímulo. Estas tres partes sucesivas (estímulo, transmisión y reacción) son características y se deben recordar.

Tropismos en las plantas.

Las reacciones de las plantas a los estímulos son relativamente sencillas y directas. Los principales estímulos a que reaccionan las plantas son: la gravedad, la luz, el agua, ciertas sustancias químicas, la temperatura y el contacto. Las reacciones se llaman respectivamente: *geotropismo*, *fototropismo*, *hidrotropismo*, *quimotropismo* y *termotropismo*. Las células que reciben los estímulos, las que los transmiten y las que reaccionan, no son por lo común diferentes de las otras células de la planta, de mo-

do que en las plantas no existen ordinariamente órganos especiales de reacción.

Las reacciones análogas en los animales más sencillos, como los protozoos y la hidra, se llaman ordinariamente tropismos, pero este término no se suele usar al describir el modo de conducirse de los animales superiores. La mayor parte de los animales tienen células u órganos especiales para recibir los estímulos, para la transmisión y para la reacción.

Reacción a la gravedad.

Cuando se siembran las semillas, quedan en la tierra en todas posiciones, y sus raicillas y tallitos están dirigidos en todos los sentidos. Esto, no obstante, cuando las semillas germinan, las raicillas con absoluta exactitud se dirigen hacia el centro de la tierra, mientras que los tallos toman dirección opuesta y crecen hacia arriba. Si se doblan hacia arriba los extremos de las raíces y se les sujeta, o si se doblan hacia abajo los extremos de los tallos, todas las partes nuevas, tan pronto como pueden, toman otra vez la dirección primitiva de crecimiento aun cuando las partes viejas no cambien de posición.

Los animales también responden a la influencia de la gravedad; pero como la mayor parte de los animales más conocidos se mueven libremente, estas reacciones no son siempre visibles. Por reacción a la gravedad, es por lo que nosotros mismos podemos mantenernos derechos, especialmente en la oscuridad.

Reacción a la luz.

Es bien sabido que los tallos y las hojas, salvo raras excepciones, se vuelven a la luz y, en cambio, si se exponen las raíces a la luz, crecen apartándose, por lo común, de ella. Los tallos, por consiguiente, son *positivamente fototrópicos*, mientras que las raíces lo son *negativamente*,

Muchas plantas son sensibles a las variaciones de la luz según las estaciones; la florescencia de algunas plantas está determinada por la duración de los días, y se las puede hacer florecer antes o después regulando convenientemente el número de horas de iluminación.

Es notable que algunos animales reaccionen a la luz más que las plantas; las amebas se apartan de la luz viva, las *Paramaecium* y las hidras se sitúan en los acuarios con arreglo a la intensidad de la luz, las mariposas nocturnas y muchos otros insectos vuelan hacia ella tan fatalmente como un objeto soltado de la mano cae al suelo. .

Hasta las personas parecen tener algún indicio de fototropismo: Si uno está sentado cómodamente en una habitación, es fácil observar que la vista pronto se dirige a la ventana, a una lámpara encendida o a algún otro objeto brillante; e incluso si intencionadamente dirige su vista a un rincón oscuro, se nota que la atención se fija en el objeto más claro de este rincón.

Más importantes son las reacciones de la piel al formar pigmento. Cuando la piel es expuesta a los rayos del sol sin estar curtida, se abrasa y se forman vejigas por efecto de los rayos ultravioletas; la exposición lleva a la formación de pigmento, la piel se tuesta y el pigmento de la piel protege las capas más profundas. La luz intensa del sol puede matar el protoplasma y de aquí el que la luz solar tienda a destruir las bacterias y actuar así como desinfectante.

Cómo encuentran agua las raíces.

Las atarjeas y los tubos de avenamiento a veces se obstruyen y hay que desatrancarlos. Se ve entonces con frecuencia que la obstrucción se debe a raíces de árboles que han entrado por roturas y se han desarrollado hasta cerrar por completo el paso del agua. Cuando los árboles más próximos están a gran distancia de

aquellos conductos, se presenta el problema de cómo las raíces encuentran el agua. Mucha gente dice que el agua atrae a las raíces; pero si en el suelo hay tuberías de agua que no la dejan escapar, las raíces no se reúnen junto a ellas. Si hay un escape en una tubería, el agua formará un manchón muy húmedo en el suelo junto a este escape; el agua que sale se irá extendiendo por la tierra, que irá siendo menos húmeda a medida que sea mayor la distancia al escape. Por consiguiente, si una raíz crece hacia abajo en este suelo tendremos que estará un poco más húmedo a un lado de la raíz que a otro.

Los experimentos demuestran que el extremo de la raíz crece más rápidamente por su lado más seco, y este crecimiento más rápido hace torcer el extremo en dirección al lado más húmedo y, por consiguiente, hacia el origen del agua. Este encorvamiento de la raíz bajo la influencia de la humedad se llama *hidrotropismo*. La dirección de crecimiento de la raíz está, por consiguiente, regida por el agua en contacto con la raíz y no por una «atracción» del agua a distancia. Mientras la raíz se encuentra fuera de la zona por la que se ha difundido el agua procedente del escape, no muestra tendencia alguna a cambiar la dirección de su crecimiento.

Es una regla general que los tropismos subsisten sólo mientras que lo que produce el tropismo llega positivamente a las células en cuestión. Las raíces crecen en dirección al agua sólo mientras el agua está en contacto con ellas. Las plantas crecen en dirección a la luz de una ventana sólo si llega a ellas alguna luz de este origen; encerradas en una caja completamente opaca crecen rectas hacia arriba, sin atender para nada la dirección de la luz que la rodea.

Quimotropismo.

La influencia del agua en la dirección de crecimiento de las raíces es un ejemplo del modo cómo muchas otras sustancias ac-

túan sobre los seres vivos. El nombre general de los efectos de esta clase es *quimotropismo*; el hidrotropismo es una clase de quimotropismo. El crecimiento de las raíces está influido por muchas sustancias del suelo además del agua; ordinariamente crecen en dirección hacia las materias fertilizantes y apartan de otras. Los movimientos de los protozoos están influidos por las materias disueltas en el agua; se mueven en dirección a algunas y en dirección contraria a otras. Si en una gota de agua bajo un cubre-objetos hay varios *Paramecium* pronto se sitúan en el borde de la gota, pues sólo allí es abundante el oxígeno. Los anterozoides de los helechos nadan en dirección hacia la concentración de ácido málico que es segregado por los arquegonios y, de este modo, anterozoides y oosferas se juntan. En muchos otros casos se debe también al quimotropismo el que se reúnan las células sexuales masculinas y femeninas.

Muchos insectos son sumamente influidos por el olor. Los peces son muy sensibles a las sustancias extrañas disueltas en el agua; son atraídos por unas y repelidos por otras. Los animales superiores y el hombre mismo se sienten igualmente atraídos y repelidos mediante los sentidos de olfato y gusto, pero ordinariamente hablamos de agrado y desagrado más bien que de tropismo.

Termotropismo.

Los animales y plantas sencillos y algunos superiores presentan reacciones a las diferencias de temperatura. Protozoos y peces se mueven en el agua hasta que han llegado al sitio de temperatura más favorable. Las ranas hibernan, las aves van hacia el sur y la gente forma corro alrededor de una hoguera. Esto no son sencillos tropismos, pero son reacciones a la temperatura.

Los efectos de los cambios de temperatura sobre los organismos son diversos. Las células del hombre y de otros animales de

sangre caliente necesitan para vivir permanecer a una temperatura variable sólo en pocos grados. La temperatura de la rana varía desde la del aire en verano hasta casi la congelación en el fondo de una charca, en invierno. Ciertas bacterias soportan una temperatura próxima al punto de ebullición del agua (100°) o tan baja como la del aire líquido (-185°).

Para la mayor parte de los organismos existe una cierta temperatura del ambiente que es la más favorable. Los esquimales y los osos polares lo pasan bien en las regiones árticas; los negros, los caimanes y los bananos viven mejor en los trópicos. El hombre parece alcanzar su mejor desarrollo en latitudes templadas donde la temperatura sea algo variable.

Limitaciones de los tropismos sencillos.

La reacción más elevada que las plantas pueden manifestar está representada por los tropismos. Como sobre las plantas actúan simultáneamente varios estímulos, sus reacciones son más o menos intermedias. Aun cuando muchas veces estas reacciones resultan muy eficaces, son ciegamente invariables y no pueden cambiar para llenar las exigencias de un medio nuevo. Así, por ejemplo, cuando el viento lleva una semilla de una planta a una rendija de una pared, podría ser ventajoso que las raíces de la nueva planta crecieran de lado o hacia arriba y, sin embargo, crecen hacia abajo, en el aire, y mueren. Las reacciones de los protozoos son igualmente ciegas. Incluso animales tan elevados en la escala zoológica como las mariposas nocturnas, vuelan a la llama donde hallan su propia destrucción. En animales superiores encontramos reacciones más complejas y mayor capacidad para modificar estas reacciones según varían las necesidades.

Irritabilidad y reacción en los animales.

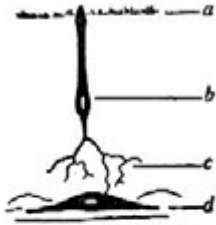


Fig. 4.^a—Aparato nervioso de dos células.

a, superficie de la piel; *b*, célula sensitiva con ramificaciones (*c*); *d*, célula ejecutora.

En oposición a las plantas, todos los animales, excepto los muy inferiores, tienen células u órganos especiales para adaptación y correlación, que constituyen el sistema nervioso. El funcionamiento y estructura del sistema nervioso requiere extensa atención por su gran importancia en la vida de los animales y del hombre. Examinemos primeramente los hechos más sencillos referentes al modo de actuar el sistema nervioso.

El tipo más sencillo de actuación nerviosa que se repite diariamente en cada uno de nosotros es el *reflejo*. Si inadvertidamente ponemos la mano en contacto con un objeto muy caliente, con una punta aguda o con cualquier otra cosa que cause dolor, la mano es inmediatamente retirada; igualmente la retiraríamos estando dormidos. El mismo hecho ocurriría también en los animales; así, si se toca una lombriz de tierra o una hidra, se retiran por contracción del cuerpo; si se toca un saltamontes o una rana, saltan, y otros animales se conducen con arreglo a su estructura y costumbres.

Un tipo sencillísimo de mecanismo para efectuar el acto reflejo sería una célula sensitiva receptora en la superficie del cuerpo, con un extremo prolongado para hacer contacto con una célula muscular ejecutora (fig. 4.^a). Esta disposición existe positivamente en algunos organismos sencillos próximos a las hidras. Pero en

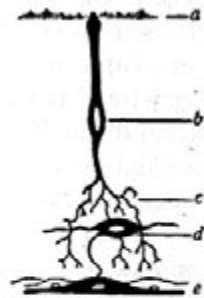


Fig. 5.^a—Aparato nervioso de tres células.

a, superficie de la piel; *b*, célula sensitiva con ramificaciones (*c*); *d*, célula motriz; *e*, célula ejecutora.



Fig. 6.^a — Neurona del cerebro del conejo.

a, b, p, dendritas; e, cilindro-eje o axón con colaterales (c); l, axones de otras neuronas. (De Cajal.)

todos los animales, salvo en estos sencillísimos, dos células por lo menos, además de las musculares, forman el arco reflejo según se ve esquemáticamente en la figura 5.^a.

Estas células son las unidades estructurales del sistema nervioso y se llaman *neuronas*, las cuales pueden estar agrupadas formando centros nerviosos y nervios.

Neuronas.

Las neuronas son sumamente diferentes, por su forma y función, de las otras células del organismo. Cada neurona comprende típicamente un cuerpo celular, formado por núcleo y protoplasma, y varias prolongaciones protoplásmicas sumamente delgadas (fig.6.^a.) Una de estas prolongaciones, ordinariamente la más larga y menos ramificada, se llama *cilindro-eje* o *axón*; las otras se llaman *dendritas*. La verdadera diferencia entre el axón y las dendritas no consiste en el aspecto, sino en el hecho que

las dendritas conducen los impulsos nerviosos en dirección al cuerpo de la célula (centrípetamente); mientras que el axón, por el contrario, conduce los impulsos a partir del cuerpo de la célula (centrifugamente). Las dendritas pueden ser muy numerosas y con frecuencia son sumamente ramificadas, de lo que viene su nombre que significa «semejante a un árbol»; pero en algunos

casos son largas y poco ramificadas con mucha apariencia de axones. De ordinario no existe más que un axón en cada célula, pero puede haber muchas dendritas. Dendritas y axón se extienden por lo común en direcciones opuestas de manera que la distancia que puede recorrer un impulso desde el extremo de una dendrita al extremo de un axón equivale a muchas veces el diámetro de cualquier célula ordinaria; los axones de ciertas neuronas del cuerpo humano tienen varios decímetros de largo aun cuando los cuerpos de las neuronas son microscópicos. Los cuerpos de las neuronas son de diferentes formas; en algunos casos son ovales, pero en muchos forman ángulos, con una dendrita en cada vértice.

Como las unidades vivientes de las plantas y animales son las células, los procesos vitales se deben explicar con relación a éstas. Las reacciones de los animales pluricelulares deben, por consiguiente, ser explicadas descubriendo cómo obran sus neuronas. Desde el acto reflejo a las operaciones mentales más complicadas, todo lo que hace el sistema nervioso de un animal es obra de sus neuronas.

CAPÍTULO VI

NEURONAS, REFLEJOS E INSTINTOS

Reacciones sencillas y complejas.

El sistema nervioso del hombre es el que más nos interesa, pero las reacciones del hombre a los estímulos son más complejas que las de cualquier otro animal. Su sistema nervioso es,

igualmente, el más complicado, y si empezásemos el estudio de las neuronas y de sus actividades por el hombre, podría haber confusión debido a los varios tipos de actividad nerviosa. Resulta preferible estudiar primero un animal sencillo, cuyo sistema nervioso no despliegue, por lo común, actividades de grado superior al acto reflejo. Las lombrices de tierra constituyen un ejemplo de estos animales.

El sistema nervioso de las lombrices de tierra.

Las lombrices de tierra están formadas por una serie de partes llamadas *segmentos* que dan al animal un aspecto anillado. El sistema nervioso consiste en un cordón nervioso con ramificaciones, situado en la parte inferior (ventral) del animal y que se extiende a todo lo largo de él. En cada segmento el cordón nervioso presenta un engrosamiento, llamado *ganglio*, y hay ramificaciones que van del cordón a los músculos y a la piel de la pared del cuerpo. Dos ganglios en el extremo anterior de éste son mayores que los existentes a lo largo del cordón nervioso. En todo lo importante, el aparato nervioso de cada segmento es semejante al de todos los demás.

El arco reflejo.

Una disposición típica de las neuronas que toman parte en un acto reflejo en las lombrices de tierra, es la que aparece representada en la figura 7^a. Una neurona cuyo cuerpo está situado en el tegumento, sirve de receptor de los estímulos producidos, por ejemplo, por contacto; el estímulo se transmite a lo largo del axón (que forma parte de una ramificación nerviosa hasta su extremo, que está situado dentro del ganglio. Allí las ramillas terminales del axón están en estrecha relación con las dendritas de una segunda neurona; el impulso nervioso es transmitido a las dendritas de la segunda neurona, y pasando por éstas y el

axón de ella llega a las células musculares que se contraen. En este ejemplo, la primera neurona es el *receptor*, la segunda es la célula *motriz*, y las células musculares son *ejecutoras*.

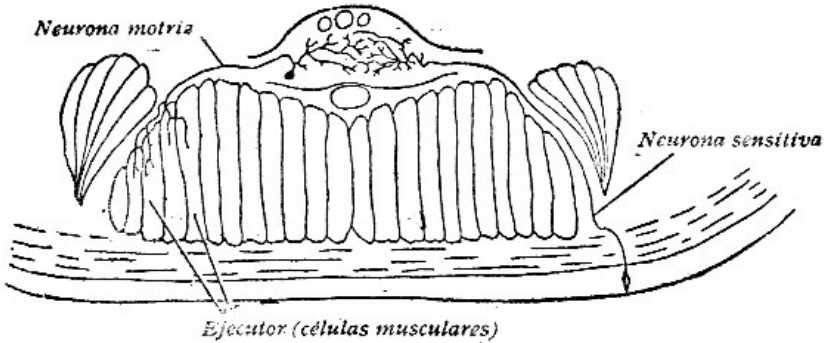


Fig. 7.^a—Aparato reflejo en una lombriz de tierra.

(De G. H. Parker y Retzius.)

Un estímulo aplicado a la superficie del cuerpo en el lugar correspondiente a la primera neurona, no puede hacer otra cosa que marchar hasta el extremo de su axón y, cuando es transmitido a la segunda neurona, es igualmente inevitable que marche hasta el extremo del axón de ésta y llegue así a las fibras musculares. Por consiguiente, no sólo la contracción del músculo es consecuencia de la estructura de la máquina nerviosa, sino que es imposible ningún otro resultado.

La neurona que lleva el impulso de la superficie al ganglio se llama neurona *sensitiva*, y la que lleva el impulso del ganglio al músculo se llama neurona *motriz*.

Sinapsis.

Puede surgir la cuestión, de qué modo se transmite el impulso, del axón de la primera neurona a las dendritas de la segunda. El estudio microscópico ha demostrado que las ramillas del axón y las ramas de las dendritas están en relación estrechísi-

ma, proporcionando así oportunidad para el paso del impulso nervioso, pero no se conoce todavía exactamente el modo como esto se efectúa. El sitio donde axón y dendritas se reúnen se llama *sinapsis*. No se conoce la naturaleza exacta de la conexión entre las neuronas en la sinapsis, pero se sabe que en la transmisión de impulsos hay más resistencia y más inercia en la sinapsis que en cualquier otro sitio de las vías nerviosas. Los impulsos nerviosos pueden cruzar una sinapsis sólo en una dirección y esto sirve para determinar la dirección en que pueden marchar los impulsos por una cadena de neuronas.

Reflejos más complicados.

En el arco reflejo simple, estudiado anteriormente, sólo existía un camino para el impulso y, por consiguiente, un estímulo adecuado, aplicado al receptor, tenía que ir seguido invariablemente por la contracción de las células musculares ejecutoras relacionadas: no había variación en la marcha del fenómeno; no podía existir correlación entre la acción de estas células musculares y la de otras células musculares vecinas porque no existía comunicación entre ellas. En realidad, una lombriz de tierra presenta mayor o menor variación en sus reacciones y una coordinación muy completa entre los músculos de su cuerpo. El arco reflejo nunca es tan sencillo como se expresa en el esquema en el que se han omitido de propósito todas las complicaciones.

Ha de entenderse que muchas neuronas sensitivas envían sus axones a un mismo ganglio y que muchas neuronas motrices de cada ganglio envían axones a los músculos. El axón de una neurona sensitiva puede ramificarse de modo que entre en conexión con varias neuronas motrices y las dendritas de una neurona motriz pueden estar en contacto con varias neuronas sensitivas. La ramificación de axones y de dendritas puede ser tan extensa que se establezcan conexiones incluso entre segmentos diferentes proporcionando así el mecanismo de una extensa correlación de

acciones musculares. Estas neuronas hacen posible que el impulso resultante de un estímulo aplicado a un segmento se extienda a varios, y permiten también la cooperación de los músculos de distintos segmentos, que vemos cuando la lombriz se entierra.

Reflejos locomotores.

En el aparato locomotor de una lombriz de tierra encontramos un ejemplo típico de la complicada naturaleza de las conexiones entre neuronas y de la exacta adaptación de las partes de la máquina nerviosa para la labor que realiza.

Si observamos una lombriz de tierra cuando se está arrastrando, se ve que a lo largo de su cuerpo, desde el extremo anterior al posterior, pasan ondas de dilatación y contracción; cada segmento, por turno, se contrae diametralmente y al mismo tiempo se hace más largo, al modo como una bola de barro húmedo sujeta con la mano se hace más larga si su diámetro se reduce apretando.

Estos movimientos son producidos por la acción de dos juegos de fibras musculares existentes en la pared del cuerpo. Inmediatamente debajo del tegumento hay una capa de músculos con fibras que van alrededor del cuerpo cuando se contraen, disminuye el diámetro de éste mientras que, al mismo tiempo, su longitud aumenta. Por debajo de esta capa de fibras musculares circulares, hay otra semejante de fibras dispuestas a lo largo del cuerpo; sus contracciones acortan los segmentos y al mismo tiempo hacen aumentar su diámetro. Cuando las dos clases de fibras se contraen alternativamente se produce un aumento y disminución alternativos en diámetro y longitud de los segmentos, según se observa en la lombriz viva.

Examinemos ahora el mecanismo nervioso que dirige los movimientos de la locomoción. La figura 8.^a representa, de un mo-

do simplificado, tres segmentos. Supongamos que en el segmento medio (*B*) la neurona motriz *I* ha transmitido un impulso a las fibras musculares circulares produciendo su contracción; esta contracción hace que disminuya el diámetro del segmento, pero hace también alargar este segmento y de este modo tiende a estirar la piel.

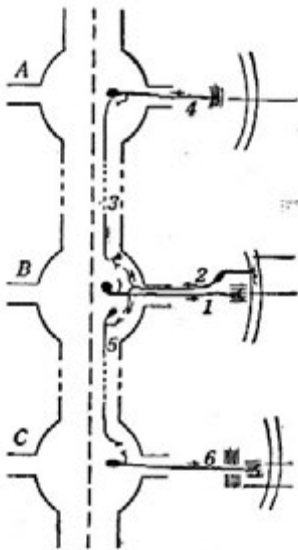


Fig. 8.^a—Esquema de los elementos nerviosos que entran en los movimientos locomotores ordinarios de una lombriz de tierra, en tres segmentos de la región media del cuerpo.

(De C. J. Herrick.)

Este estiramiento de la piel sirve de estímulo al extremo receptor de la neurona sensitiva 2 que transmite el impulso nervioso a las dos neuronas señaladas con los números 3 y 5. La neurona 3 que se dirige hacia la parte anterior del cuerpo, lleva el impulso hacia adelante al ganglio del segmento A; allí el impulso pasa a la neurona 4 que termina en las fibras musculares longitudinales y produce su contracción y el consiguiente acortamiento del cuerpo en esta región. De un modo análogo el impulso de la neurona 2 va hacia atrás por las neuronas 5 y 6 a los músculos circulares del segmento C, excitándolos a contraerse, como los del segmento B fueron excitados por un impulso en la neurona *I*. Cuando el segmento C se alargue por la contracción de sus músculos circu-

lares, este alargamiento dará origen a estímulos (como se ha descrito antes para el segmento *B*) que producirán acortamiento de *B* y alargamiento de los segmentos siguientes a C, propagándose

así el fenómeno a lo largo del cuerpo.

Para el fin que ahora nos proponemos, la impresión principal que hemos de sacar del examen de estas disposiciones del sistema nervioso de la lombriz de tierra es el carácter casi maquinales de sus reacciones y también el hecho que la lombriz se conduce del modo que lo hace en estos casos, no porque haya pensado en una serie de acciones, sino sencillamente porque la máquina nerviosa está construida de modo que produce estos resultados. Esto equivale a decir que el comportamiento de la lombriz de tierra está en gran parte constituido por reflejos; pero en seguida veremos que no lo está exclusivamente.

Las lombrices de tierra aprenden.

Si el sistema nervioso de la lombriz de tierra consistiese sólo en simples mecanismos reflejos, como los que han sido examinados, tendría poca o ninguna posibilidad de aprendizaje. Un mecanismo de neuronas como el descrito para el aparato locomotor permite sólo ciertos movimientos determinados. Como se indicó anteriormente, la disposición de las neuronas comprende mucho más de lo que se puede representar claramente en un esquema. El aparato locomotor comprende otros caminos para los impulsos, que hacen posibles muchas variantes de los sencillos movimientos descritos.

Se han hecho estudios para descubrir si un sistema nervioso tan sencillo como el de la lombriz de tierra es capaz de aprender por experiencia. Se dispuso un conducto de forma T invertida (*fig. 9.^a*) con entrada para la lombriz por el sitio A; para salir, el animal tenía que torcer a la derecha o a la izquierda; el paso de la derecha (del lector) estaba provisto de electrodos capaces de dar a la lombriz una descarga desagradable, mientras que el de la *izquierda* estaba libre. Después de unos 100 ensayos la lombriz aprendió a ir directamente todas las veces al paso de la izquierda: es por consiguiente claro que la lombriz de tierra tiene

un sistema nervioso que permite ligeras modificaciones de conducta para atender a las exigencias del medio, pero es igualmente claro que en circunstancias ordinarias la lombriz es casi por completo un organismo de reflejos.

En general se puede decir de los animales, que existen dos factores fundamentales en su conducta: «Un sistema de acción fijo invariable y heredado de tipo reflejo e instintivo, y una capacidad de modificación individual o de aprendizaje por experiencia».¹ La conducta de las lombrices de tierra está dirigida casi totalmente por el primer factor.

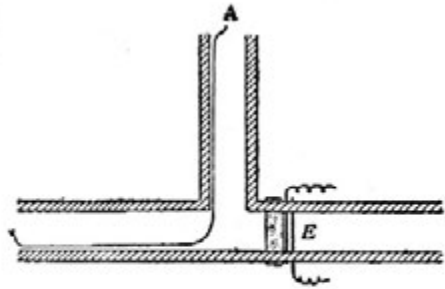


Fig. 9.^a—Esquema del aparato usado para probar la capacidad de aprender que tienen las lombrices de tierra.

Instintos en las lombrices de tierra.

Además de los actos reflejos, relativamente simples, que se han descrito antes, como la locomoción o el alejamiento del peligro, las lombrices de tierra presentan otros tipos de conducta mucho más complicados, como los que muestra al hacer sus galerías o al procurarse el alimento. Cada lombriz de tierra construye su galería y dispone de los materiales de desecho de la misma manera y con los mismos resultados que lo hace cualquier otro individuo de su especie; es exactamente el modo como las lombrices de tierra han hecho sus galerías desde que tenemos noticias. Ninguna lombriz ha aprendido de sus ante-

¹ C. J. Herrlck, *Neurological Foundations of Animal Behavior* (Holt, 1924).

pasados el modo de construir las galerías, pues en estos animales no existen cuidados paternos y los jóvenes se desarrollan independientemente; además, la lombriz de tierra no tiene ojos y por tanto apenas podría aprender por imitación aun en el caso de que se le ofreciese oportunidad para ello. Sin embargo, toda lombriz joven, sin haber aprendido, se pone a construir una galería exactamente como las de sus antepasados. Una aptitud que no es adquirida tiene, por fuerza, que haber sido heredada. Estas aptitudes y tendencias heredadas se llaman ordinariamente *instintos*.

Un instinto, como un reflejo, es «un sistema de acción fijo invariable y heredado». Lo mismo que los reflejos, los instintos parecen relacionados con un tipo determinado en la disposición de las neuronas, de manera que una vez que se aplica el estímulo adecuado, toda la serie de actos comprendidos en la conducta instintiva sigue como cosa necesaria. Los actos instintivos se realizan muy perfectamente y de ordinario producen alguna ventaja al animal, como la construcción de guaridas, la evitación de enemigos, el alimento o el apareamiento.

En situaciones extraordinarias en que la conducta instintiva es peligrosa, se realizará con la misma precisión que en los casos en que es útil. Todo esto constituye un poderoso argumento en favor de que estos tipos de conducta son consecuencia de la estructura del sistema nervioso.

Instintos de los insectos.

Ningún otro grupo de animales ofrece más interés desde el punto de vista de sus instintos que los insectos. Desde tiempos antiquísimos el hombre se ha maravillado por igual de las notables construcciones de las abejas y hormigas, de su industria y de la compleja vida social de sus colonias.

Las celdillas del panal de abejas son exágonos regulares, que es la mejor forma posible para el objeto; el panal está dispuesto

como para sostener su peso sin peligro de romperse.

Las rendijas que se producen en la colmena son tapadas, y por otra parte se establece un sistema de ventilación. Las hormigas construyen galerías subterráneas que, al parecer, representa considerable habilidad de ingeniería. Los escritos antiguos y modernos están llenos de alusiones a la supuesta inteligencia de estos y otros insectos.

Examinemos más de cerca esta cuestión. Los insectos llamados avispas del barro (*Pelopceus*) construyen celdas de este material hechas con una habilidad comparable a la que muestran las abejas en sus panales. Es costumbre de las hembras de aquellos insectos el capturar arañas y paralizarlas picándoles en el cuerpo; en cada araña ponen entonces un huevo y estas arañas quedan cerradas en las celdas de barro. Cuando las larvas salen del huevo se alimentan de las arañas paralizadas, pero *vivas*, hasta que están suficientemente desarrolladas para salir de las celdas.

A primera vista parece esta conducta muy inteligente por parte de la avispa hembra. Sin embargo, un poco de reflexión mostrará claramente que puesto que ella jamás ve su cría, no puede tener noción de las futuras necesidades de ésta, y dado que tampoco vió jamás a su propia madre y es muy probable que nunca haya visto a otra avispa de su especie construir su nido, no ha podido aprender el procedimiento. En realidad, todo no es más que un instinto heredado. La avispa del barro no tiene la menor noción de por qué está haciendo lo que hace.

Otro ejemplo nos mostrará lo poquísimo que puede un himenóptero modificar su conducta instintiva y nos indicará la escasa inteligencia que supone. El gran naturalista francés Fabre estudió un ésfex que captura efípígeras y las entierra en un agujero en el suelo, lo que hace siempre cogiéndolas por las antenas. Si se corta las antenas a la efípígera, el ésfex se agarra a los palpos, que son algo parecidos; pero no es capaz de modificar suficientemente sus instintos o de desarrollar inteligencia lo bas-

tante para coger a la efípígera por las patas cuando se han cortado antenas y palpos. Indudablemente el modo de conducirse los insectos es un sistema de acción fijo, invariable y heredado, con pocas probabilidades de modificación para atender a nuevas condiciones, porque el sistema nervioso está construido de tal manera que es causa de que aquellas acciones sigan de un modo reflejo a los estímulos adecuados.

Sistema nervioso de los insectos.

La opinión de que la conducta llamada inteligente de los insectos no es en realidad más que instinto no inteligente, se confirma también por el examen de la estructura de su sistema nervioso. Los insectos son animales segmentados como las lombrices de tierra. El sistema nervioso de un insecto es semejante al de la lombriz en cuanto que consiste en un cordón nervioso ventral y una serie de ganglios con las ramificaciones correspondientes. Los ganglios son mayores en los insectos, y como es en los ganglios donde las neuronas se conexionan mutuamente, era de esperar que las conexiones entre neuronas serían en ellos más numerosas y, por consiguiente, más complicados los reflejos e instintos. Se ha visto que así ocurre.

El construir un panal, el recolectar el néctar, el enjambrar son actos instintivos mucho más notables y complejos que todo cuanto puede hacer una lombriz de tierra, pero son completamente instintivos: no se perfeccionan por repetición, sino que se realizan con igual perfección la primera vez que la última.

Insectos sociales.

Notabilísimos son los instintos de los insectos sociales, como las abejas y las hormigas. En este caso, los individuos de la colonia pueden no poseer todos, los mismos instintos. Hay muchas especies de hormigas en las que ciertos individuos tienen el ins-

tinto de la lucha y actúan como defensores de la colonia; otros tienen el de recolectar alimento, construir el hormiguero y cuidar las larvas: estos individuos son las obreras. Los machos y hembras perfectos tienen el instinto reproductor y de ellos depende la perpetuación de la colonia.

Por esta división del trabajo e instintos entre los diferentes grupos o castas de la colonia se realiza perfectísimamente una gran variedad de actos. Las necesidades ordinarias de la colonia están bien servidas; sin embargo, existe alguna pequeña ocasión de perfeccionamiento o adaptación a necesidades nuevas, pues los instintos de cada casta son ligeramente modificables.

Los insectos parecen representar el desarrollo máximo a que hayan llegado los animales dirigidos casi exclusivamente por instinto; es decir, representan la culminación del «sistema de acción fijo, invariable y heredado», mientras que el hombre representa el desarrollo extremo de «una capacidad de modificación individual o de aprendizaje por experiencia».

El influjo nervioso.

En la exposición precedente nos hemos referido con frecuencia al impulso nervioso que se transmite por las dendritas y axones, pero no se ha intentado explicar la naturaleza de este impulso; además no podemos decir que haya quien conozca la naturaleza del impulso nervioso, aun cuando se ha conseguido conocer muchas cosas acerca de él. Como las fibras nerviosas (dendritas y axones) sirven en el cuerpo para fines de comunicación de un modo bastante parecido a los alambres telefónicos en una ciudad, se ha hecho a veces esta comparación. En ella, el impulso nervioso en el cuerpo correspondería a las corrientes eléctricas en los alambres. Hay que recordar que estas comparaciones son, al fin y al cabo, sólo comparaciones y que los impulsos nerviosos no son en realidad corrientes eléctricas, como tampoco las fibras nerviosas son alambres de cobre. Una prueba

de la diferencia entre la corriente eléctrica y el impulso nervioso la encontramos en la observación de que la velocidad con que marcha un impulso no es igual a la de una corriente eléctrica, y de que la velocidad no es igual en todos los animales.

Podrá parecer extraño a algunos lectores el oír hablar de la velocidad de un impulso nervioso; la mayor parte de nosotros estamos acostumbrados a juzgar las reacciones nerviosas como instantáneas; es decir, suponemos que si se pincha un dedo con una aguja, el dolor se siente exactamente al mismo tiempo del pinchazo. En realidad, entre el pinchazo y la conciencia del dolor existe un intervalo de tiempo medible, aunque pequeño.

La velocidad de transmisión nerviosa ha sido medida en diversos animales; en general, es más rápida en los animales superiores que en las formas inferiores. La velocidad, en diferentes especies, es la siguiente:

Actinias	0,146 a 0,211	metros	por	se-
		gundo.		
Medusas.....	0,5	»	»	»
Nervio ciático de <i>la rana</i>	25	»	»	»
Algunos nervios del hombre.....	125	»	»	»

Se ve por consiguiente que, aun cuando no conozcamos la naturaleza de los impulsos nerviosos, estamos seguros de que existen y conocemos un buen número de hechos importantes referentes a ellos.

CAPÍTULO VII

EL SISTEMA NERVIOSO DE LOS VERTEBRADOS

Forma general.

Todos los animales grandes que vemos ordinariamente pertenecen al grupo de los vertebrados o animales que tienen columna vertebral; los gusanos y los insectos pertenecen al grupo de los invertebrados. Debemos recordar que la parte central del sistema nervioso de los gusanos e insectos consiste en un cordón nervioso con ganglios, que corre a lo largo de la cara ventral del cuerpo y que en ellos no hay verdadero cerebro, pues los ganglios primero y segundo son tan sólo un poco mayores que los otros. En los vertebrados, el cordón nervioso está situado en el lado dorsal, protegido por la columna vertebral, y lleva el nombre de *médula espinal*. No hay en ella engrosamientos como los ganglios de la lombriz de tierra, pero existe el *encéfalo* en su extremo anterior. En muchos vertebrados es éste la parte mayor del sistema nervioso; es relativamente pequeño en los peces y grande en los mamíferos.

Como el encéfalo del hombre es el más complicado de todos, convendrá obtener nuestras primeras ideas sobre el funcionamiento del sistema nervioso de los vertebrados, fijando nuestra atención en algún animal más sencillo. Para este objeto se ha elegido la rana.

El arco reflejo.

Como el sistema nervioso en todos los vertebrados está formado por neuronas, el fenómeno general de transmisión de impulsos es, naturalmente, análogo en los vertebrados e invertebrados. En general, las neuronas receptoras o sensitivas transmiten a la médula espinal, y las neuronas motrices transmiten de ésta a las fibras musculares: es como el arco reflejo simple des-

crito anteriormente. Sin embargo, en la rana y demás vertebrados es frecuentísimo el que una neurona se conecte por sinapsis con un gran número de otras que pueden conducir a músculos u órganos completamente distintos. De este modo, al impulso nervioso se le ofrece no sólo un camino, sino varios (fig. 12), y, por consiguiente, es posible más de un tipo de reacción. Toda neurona sensitiva está, pues, relacionada con neuronas que se extienden hasta el encéfalo, y, de este modo, el impulso que produce un acto reflejo es también transmitido al encéfalo, desde el cual puede salir para los músculos un nuevo grupo de impulsos; y así el acto reflejo involuntario puede ir seguido de actos voluntarios. De esto se desprende que si en la lombriz de tierra un estímulo sencillo, como el pinchazo de una aguja, va seguido automáticamente de un cierto movimiento reflejo y probablemente de ninguna otra consecuencia, en un vertebrado, el mismo estímulo puede no sólo ocasionar una variedad mayor de reflejos o reflejos más complicados, sino también desencadenar varias clases de acciones voluntarias. Por ejemplo, el pinchazo de una aguja hará que una lombriz de tierra se retire, por reflejos, del objeto que le hiera; e igualmente un perro es posible que dé un brinco, pero además puede ladrar, aullar, escaparse o revolverse y atacar al ofensor: el primer movimiento está gobernado por la médula espinal, pero los actos siguientes se deben al encéfalo y son consecuencia de la transmisión del impulso original al encéfalo y a los músculos.

El encéfalo.

Las partes principales del encéfalo de todo vertebrado son la *médula oblonga*, *el cerebelo* y *el cerebro*.

En la rana, la médula oblonga (fig. 10^a), en apariencia, es poco más que un abultamiento del extremo anterior de la médula espinal, y en otros vertebrados, incluso el hombre, tiene mucho de este aspecto. El cerebelo de la rana es un engrosamiento poco marcado del techo del encéfalo inmediatamente delante de la médula; pero en los peces, lo mismo que en los vertebrados superiores, el cerebelo es mucho mayor. El cerebro está representado por un par de lóbulos en forma de pera, o *hemisferios*, que constituyen su parte

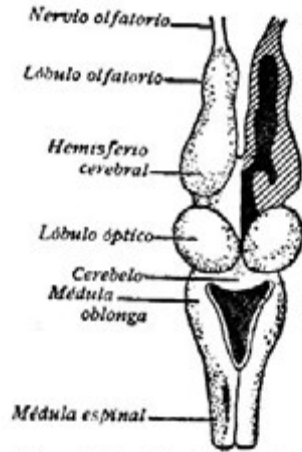


Fig. 10.^a—Encéfalo de la rana.

(De C. J. Herrick.)

anterior. El engrosamiento que existe en el extremo de cada hemisferio cerebral es un *lóbulo olfatorio*, del cual sale para la nariz el nervio olfatorio. Entre los hemisferios cerebrales y el cerebelo hay dos cuerpos redondeados muy visibles que se llaman *lóbulos ópticos*; son partes menos visibles, aunque no sin importancia, en el cerebro de los mamíferos y no entrarán mucho en nuestra explicación. Los lóbulos olfatorios parecen estar ocupados principalmente por neuronas relacionadas directamente con el sentido del olfato, y los lóbulos ópticos están asimismo estrechamente relacionados con la vista, pero pueden encerrar muchas neuronas sin conexión con esta función.

A la rana, lo mismo que a otros muchos animales de sangre fría, se le pueden amputar partes del cuerpo con resultados mucho menos graves que los que ocurrían en los mamíferos. Este hecho ha permitido numerosos experimentos suprimiendo partes del encéfalo para descubrir las funciones de estas partes. Es sorprendente observar que las más de las funciones del animal se

pueden efectuar en ausencia de todo el encéfalo excepto de la médula. Un animal que tenga destruido todo el encéfalo, por delante de la médula, sigue siendo capaz de nadar, de tomar la posición natural si se le ha vuelto hacia arriba, de respirar y de tragar alimento; pero, por el contrario, ha perdido los sentidos de vista, olfato y oído y la facultad de movimiento espontáneo: abandonado a sí mismo, permanece indefinidamente quieto.

La explicación del pequeño papel representado por el encéfalo en la actividad ordinaria de la rana, parece ser que la mayor parte de los actos de su vida son reflejos o instintivos. Los instintos, como hemos visto, tienen mucho de la naturaleza de los reflejos complejos. La rana posee una delicadísima ramificación e interconexión de neuronas; esto ofrece oportunidad para mejor correlación entre las partes del cuerpo y para arcos reflejos más complejos y, de conformidad con ello, la rana presenta instintos y reflejos bastante complicados. Su vida es, sin embargo, después de todo, muy sencilla: saltar, nadar, atrapar insectos desprevenidos, constituyen de ordinario su actividad diaria. Un hecho característico es el siguiente: la rana se sitúa en la orilla, de cara al agua; la vista de una persona en movimiento obra como un estímulo para el reflejo de saltar, y la rana se tira al agua; el contacto con ésta es el estímulo para el reflejo de nadar continuando el movimiento de las patas posteriores. De este modo, todo lo que se refiere a escapar de los enemigos, es una serie de reflejos en la que el encéfalo probablemente es innecesario salvo en cuanto que forma parte del camino del impulso originado en los ojos. La mayor parte de las actividades de la rana se pueden igualmente explicar como reflejos.

Inteligencia de la rana.

Por lo que se ha dicho sobre la naturaleza refleja de la mayor parte de los actos de la rana, y por el pequeño tamaño de su encéfalo, nos inclinaríamos a esperar poca inteligencia en este

animal. La observación confirma esta idea.

Un autor, después de extensas observaciones y experimentos, llega a la conclusión que las ideas de una rana son demasiado limitadas para ser demostradas; otros investigadores han encontrado una inteligencia limitadísima. Utilizando un aparato semejante al empleado para demostrar la capacidad de aprendizaje de la lombriz de tierra, pero más dificultoso, se ha visto que las ranas aprenden el camino después de 50 a 100 ensayos. La formación de costumbres sencillas parece ser aproximadamente el límite de la capacidad de perfeccionarse la rana por experiencia.

Lo que se ha dicho acerca del encéfalo y sus funciones en las ranas, se aplica en general a todos los otros anfibios y a los peces. Los reptiles tienen un sistema nervioso un poco más perfeccionado y evidentemente muestran el adelanto correspondiente en inteligencia; pero las aves constituyen el primer grupo en que son notorios tipos de conducta que se elevan sobre el nivel de los reflejos e instintos.

El sistema nervioso del hombre: estructura general.

Como el hombre es un vertebrado, de ello se sigue que su sistema nervioso ha de ser semejante al de éstos. Las partes más importantes son el encéfalo, la médula espinal y los nervios. La médula espinal tiene unos 45 centímetros de largo y algo más de un centímetro de diámetro y está dividida longitudinalmente por los surcos dorsal y ventral. El encéfalo del hombre, con relación al resto del sistema nervioso, es mucho mayor que en otros animales. Los nervios están dispuestos por pares; doce pares salen del encéfalo y treinta y un pares de la médula espinal.

El aparato reflejo.

Como en la rana, la médula espinal contiene las neuronas relacionadas con la mayor parte de los reflejos ordinarios. La

médula espinal, en sección transversa, es casi circular y está claramente dividida en mitades derecha e izquierda por dos profundos surcos (fig. 11). La parte externa de la médula es blanca y está constituida casi totalmente por fibras nerviosas que se dirigen al encéfalo o vienen de él. Parte del interior de la médula es de color gris y, en sección transversa, aparece en forma de H; esta parte gris contiene los cuerpos de las neuronas.

La unión de los nervios espinales con la médula ofrece una particularidad de interés. Cada nervio, junto a la médula, se divide en dos partes, y de este modo se une a ella en dos puntos. Estas ramas se denominan las *raíces* del nervio (fig. 11); la *raíz dorsal* presenta una hinchazón o *ganglio* a poca distancia de la médula.

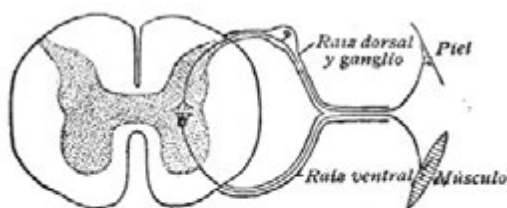


Fig. 11.—Esquema del acto reflejo medular más sencillo.

Ordinariamente hay una tercera neurona interpuesta entre la neurona motriz y la sensitiva.

Se ha demostrado que toda neurona sensitiva (es decir, toda neurona que transmite impulsos a la médula) pasa por la raíz dorsal; y, además, el cuerpo celular de estas neuronas sensitivas está situado en el ganglio de esta raíz (fig. 11).

La raíz sin ganglios, llamada *raíz ventral*, está compuesta de fibras (axones) que transmiten impulsos que salen de la médula (centrífugos). Los cuerpos celulares de que proceden estos axones están situados en la materia gris de la médula (fig. 11); son las neuronas motrices.

Un arco reflejo sencillo tiene que comprender: una neurona sensitiva cuya dendrita se puede extender desde la piel de un dedo hasta el cuerpo celular situado en el ganglio de la raíz dorsal de un nervio espinal, y cuyo axón va desde este punto hasta

la materia gris de la médula espinal (fig. 12); luego una segunda neurona (neurona de asociación), situada por completo dentro de la médula, que recibe impulsos de la neurona sensitiva y los transmite a una neurona motriz cuyo cuerpo está situado en la parte gris de la médula y cuyo axón va por la raíz ventral hasta un ejecutor como, por ejemplo, una célula muscular.

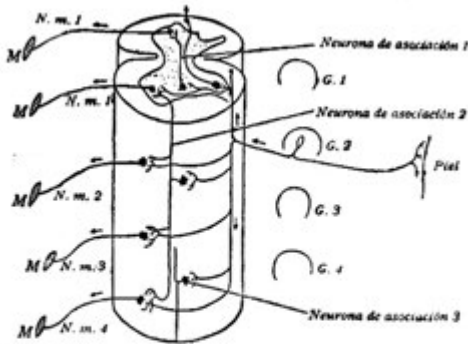


Fig. 12.—Esquema del aparato reflejo de la médula espinal.

G., ganglio espinal; N. m., neurona motriz; M., músculo.

En realidad, el arco reflejo nunca es tan sencillo como se acaba de describir. El axón de la neurona sensitiva comúnmente tiene ramas que se extienden hacia arriba y hacia abajo en la médula para hacer contacto con varias neuronas de correlación; éstas a su vez pueden ramificarse también. El lector podrá seguir en el esquema (fig. 12) las diferentes vías por que puede marchar un impulso a partir de un receptor.

Puede ocurrir que las neuronas estén dispuestas de modo que un impulso nervioso que venga de la piel se transmita a dos grupos de neuronas motrices, uno de los cuales vaya al brazo y el otro a la pierna, produciendo así reflejos simultáneos en ambos miembros (fig. 13). Disposiciones semejantes establecen correlación entre otros órganos. Existen también agrupaciones de neuronas que tienden a reforzar o amplificar impulsos débiles, y otras que reducen impulsos fuertes.

Lo que se acaba de decir acerca del aparato de reflejos de la médula espinal quizá parezca muy complicado, y acaso el lector haya tenido alguna dificultad al seguir su explicación aun con ayuda de las figuras; pero, por lo menos, el lector habrá obtenido

la noción de que la disposición de las neuronas, en el hombre, es complicadísima, que hay muchas vías para los impulsos nerviosos y que existe por consiguiente en él oportunidad para diversos y complicados reflejos.

Ejemplos de actos reflejos.

Uno de los mejores ejemplos de un reflejo en el hombre es el pestañear. Siempre que se aproxima mucho un objeto a un ojo, el párpado se mueve. No hay en ello intención de cerrar el ojo, pero no es posible mantenerlo abierto por un esfuerzo de la voluntad; muchas veces es uno inconsciente de que haya habido parpadeo. Igualmente se da un respingo cuando se oye un ruido inesperado y retiramos la mano o el pie al tocar un objeto ardiente o cuando nos pinchamos. El toser y el estornudar son también reflejos.

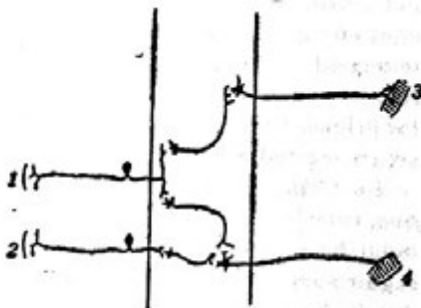


Fig. 13.—Disposición del reflejo correlacionado del brazo(3) y de la pierna(4)

Actos automáticos.

Los actos como el respirar se efectúan automáticamente por un mecanismo nervioso apropiado y se parecen así mucho a los reflejos. Difieren de éstos en que el estímulo no viene de fuera por un receptor, sino que se produce dentro del cuerpo. Se llaman actos automáticos.

El mecanismo de los hábitos.

Los actos habituales llegan a ser tan inconscientes como los reflejos y puede ser casi tan difícil el contenerlos voluntariamente. Un acto habitual bien establecido, al ser aplicado el estímulo adecuado, se efectúa tan pronta y seguramente que se ase-

meja mucho a un reflejo. Así, el que ha estado mucho tiempo en el servicio militar, llega a formar tan sólidamente ciertos hábitos de andar, que se le puede distinguir por ellos aún muchos años después de haber salido del ejército. Existe una diferencia fundamental entre los reflejos y los hábitos. Los reflejos son innatos, mientras que los hábitos han sido adquiridos: los primeros se deben a la estructura original del sistema nervioso; los segundos, al ejercicio.

La formación de los hábitos depende, al parecer, del hecho que, cuando un impulso nervioso ha seguido una vez un cierto camino, les es más fácil a los impulsos de un estímulo semejante el seguir aquel mismo camino. Cada repetición refuerza esta tendencia, hasta que al fin la probabilidad de que una respuesta determinada siga a un estímulo dado es casi tan grande como en el caso de un reflejo.

Es difícil decir exactamente por qué los caminos muy utilizados se hacen más fáciles para la transmisión del estímulo. Puede ser que las sinapsis se modifiquen con el uso o que la modificación esté en las neuronas mismas. En todo caso es evidente que los hábitos se forman por repetición y que la repetición de un acto determinado después de un estímulo dado, tiene por resultado la formación de un hábito.

El abandonarlo no es tan fácil como el adquirirlo. El único medio es impedir la repetición del acto habitual. Si este esfuerzo tiene éxito, la tendencia al hábito se irá haciendo más débil y, después de un tiempo considerable, puede parecer que ha cesado por completo. No existe, sin embargo, seguridad de que no se vea uno más adelante embarazado por la inesperada reaparición del hábito; pues es dudoso el que se olvide por completo un hábito una vez que ha sido perfectamente adquirido. El ejercicio de nuevos hábitos de carácter opuesto a los que no se desean, es un método excelente de destruir estos últimos.

Valor de los hábitos.

Los hábitos son casi necesarios. Por ellos se efectúan, con un mínimum de atención consciente, muchas de las cosas ordinarias de la vida; no hacemos, como los niños pequeños, un problema separado de cada botón cuando nos vestimos por la mañana; por el contrario, los dedos abotonan rápida y correctamente el vestido mientras la mente se emplea en otra cosa. Del mismo modo la complicada acción de andar se ejecuta de ordinario sin apartar la mente de los pensamientos, y los complejos y dificultosos movimientos empleados en escribir con pluma se han hecho por completo habituales. Todos nosotros tenemos y necesitamos tener un gran número de hábitos. Todos los niños en la escuela formarán hábitos y es necesario que así ocurra. ¿Serán los hábitos los amos o los servidores? La responsabilidad del maestro en la formación de hábitos útiles en los discípulos es grandísima.

Instintos.

Se ha indicado anteriormente que los verdaderos instintos parecen tener algo de la misma naturaleza que los reflejos complejos. Quizás en muchos casos son cadenas de reflejos en las que la realización de un acto como reacción a un estímulo, actúa a su vez como estímulo para un segundo acto que puede a su vez servir de estímulo para un tercero, y así sucesivamente. De este modo una cadena de actos, resultado todos de un solo estímulo primitivo, puede constituir una conducta bastante complicada. El instinto de la avispa del barro, de prevenir alimento para su cría, parece ser de este tipo.

Se ha discutido mucho acerca de los instintos del hombre. Algunos autores reconocen un gran número de instintos y les conceden lugar preeminente en la dirección de la conducta humana; otros pretenden que existen en el hombre pocos instintos y que éstos son de importancia relativamente pequeña. El fundamento de esta confusión puede estar en el hecho de que la

conducta humana es un complejo variadísimo y está intervenida por muchos factores. En los insectos hay poco que se pueda atribuir a inteligencia, emoción o incluso hábito, mientras que éstos son importantes guías de la conducta humana. En las condiciones de la vida moderna la razón puede dictar una línea de conducta muy diferente de la indicada por un instinto. Además los instintos humanos tienen poca ocasión de producir resultados sin colisiones. Durante la infancia el niño está casi continuamente bajo el cuidado de sus padres unido a la presión social debida a la aprobación o desaprobación de sus compañeros. El resultado es que, cuando ha transcurrido la infancia, los instintos hereditarios se han modificado mucho y aun suprimido por los hábitos adquiridos.

Más adelante, los resultados de la educación paterna y de la disciplina social, están sustituidos por la propia razón del individuo. La conducta de los adultos, en la mayor parte de los casos, no tiene, por consiguiente, nada de instintiva.

Función y estructura.

La dependencia del funcionamiento del sistema nervioso, de su estructura, ha sido explicada ya repetidas veces, especialmente con ocasión del estudio de los reflejos. Lo mismo podemos ver por otros caminos: si se corta la raíz dorsal (pág. 67) de un nervio, habrá una pérdida de sensibilidad en un área determinada del cuerpo; pero si se corta la raíz ventral, habrá una pérdida de la facultad de movimiento, pero no de sensibilidad. Las lesiones en ciertas partes de la médula espinal impiden el movimiento o destruyen la sensibilidad o hacen ambas cosas en las partes correspondientes del cuerpo. Evidentemente todo ello se puede explicar por una comparación con el sistema telefónico de una ciudad; el funcionamiento de éste depende por completo de la estructura de sus partes y de sus mutuas conexiones.

Las unidades del sistema nervioso —las neuronas— no han

estado siempre conectadas entre sí; cada neurona es, al principio, una célula independiente no muy diferente en aspecto de las otras del cuerpo; después la neurona cambia de forma y emite el axón y las dendritas que crecen hasta establecer conexiones con otras neuronas y con los aparatos receptor y ejecutor. La neurona sólo es útil cuando establece estas conexiones. Mientras que el número de neuronas —hasta donde sabemos— no aumenta después del nacimiento, su desarrollo y el perfeccionamiento de las conexiones continúa, en cambio, durante la infancia y quizás durante toda la vida. El niño, por consiguiente, pasa al cuidado del maestro en un tiempo en que el mecanismo nervioso está aún en un estado de formación.

El desarrollo del aparato nervioso ha sido estudiado en la larva de la salamandra con más minuciosidad que en ningún otro animal. Se ha visto que en un cierto estado del comienzo de su desarrollo estas larvas no se mueven y que entonces no están aún bien desarrolladas las neuronas correspondientes a los músculos situados a los lados del cuerpo; sus axones no se han extendido a los músculos y, por consiguiente, no puede llegar a las células musculares ningún impulso nervioso; por tanto, ningún estímulo puede producir movimientos. Un poco después las larvas empiezan ya a ejecutar movimientos laterales de cabeza cuando se las inquieta. En este estado se ha visto que las neuronas han establecido conexión con los músculos de la parte anterior del cuerpo y, por consiguiente, el movimiento es posible. A medida que adelanta el desarrollo, las neuronas se van extendiendo a los músculos situados más atrás y la facultad de movimiento se va extendiendo correlativamente hasta que todas las partes del cuerpo y de la cola son capaces de ejecutar movimientos coordinados de natación. Es evidente que en este animal la facultad de nadar aparece sólo cuando el desarrollo de su sistema nervioso la hace posible, y es igualmente claro que el animal es incapaz de aprender a nadar hasta que el mecanismo ner-

vioso se ha desarrollado adecuadamente, aun cuando el animal posea ya todos los músculos necesarios para la natación.

Ciertas analogías con la conducta humana vienen por sí solas a nuestra mente. Por ejemplo, los padres ansiosos intentan muchas veces enseñar a andar a los niños a una edad demasiado temprana, ordinariamente sin éxito; poco después el niño, quizá sin enseñarle, empieza a andar y aprende rápidamente este arte hasta entonces imposible. Lo mismo puede ocurrir con el hablar: un niño que durante meses ha rehusado interesarse por las palabras, empieza a hablar y al cabo de una o dos semanas posee ya un corto vocabulario. Naturalmente, nadie ha logrado aún estudiar el desarrollo de las neuronas del niño como se ha investigado el desarrollo de las de la larva de la salamandra, pero la semejanza es sugestiva. Es muy probable que los cambios bruscos en la capacidad de aprender ciertas cosas, como el andar o hablar, se deben relacionar con estados del desarrollo de la máquina nerviosa. Si es así, es evidente que nada bueno, y quizás algo bastante malo, puede venir de los intentos de imponer a los niños tipos de instrucción para los que no están bastante desarrollados. Se sabe positivamente que las partes del encéfalo no se desarrollan con igual velocidad; de ello nos ocuparemos más adelante, en lugar adecuado.

El sistema nervioso autónomo.

Además de los órganos nerviosos hasta aquí descritos, existen muchos ganglios y cordones nerviosos distribuidos por todo el cuerpo, que están relacionados principalmente con los órganos internos o vísceras. Estos ganglios y su red de nervios forman la parte principal del *sistema nervioso autónomo* o *simpático*, que dirige los órganos viscerales y actúa, en gran medida, como un sistema nervioso independiente. No obstante, los ganglios simpáticos de una cadena situada junto a la médula espinal están unidos a las raíces de los nervios espinales; por medio de estas

conexiones el sistema nervioso central ejerce cierto gobierno sobre los órganos viscerales, y por estas mismas conexiones, impulsos nerviosos surgidos en los órganos internos pasan del sistema nervioso simpático al sistema nervioso central y llegan, finalmente, al encéfalo. Esta intrusión del sistema nervioso simpático no es de ordinario sensible, a menos que sea importante la perturbación que la ocasiona.

Es un hecho interesante el que, cuando estos impulsos de los órganos internos llegan al encéfalo, el dolor u otra sensación desagradable se supone de ordinario originada en otra parte del cuerpo; así el dolor encima de los ojos puede ser causado por indigestión. La explicación parece ser que, cuando los fuertes impulsos nerviosos originados en el estómago alterado llegan al sistema nervioso central, no encuentran un grupo especial de fibras propias que lleven al encéfalo, y, en cambio, son transmitidos a fibras sensitivas que ordinariamente llevan noticias procedentes de alguna parte de la piel y, en este caso, de la piel situada encima del ojo. Así llegan los impulsos al encéfalo por la misma vía que las noticias procedentes de la frente y son interpretadas por el encéfalo como dolor en la frente; pero en realidad el dolor está en el estómago. Se conocen algunos de estos «dolores trasladados».

CAPÍTULO VIII

EL ENCÉFALO Y LA MENTE DEL HOMBRE

El hombre, señor del mundo.

Al hombre le gusta pensar que es el animal dominante; esto halaga el sentimiento de su importancia. Se esfuerza en hacerse dueño del medio que le rodea para que éste le sirva; ha triunfado tan completamente en la lucha por el dominio y en su propia adaptación a las fuerzas que no puede dominar, que ha extendido su imperio no sólo a la mayor parte de la tierra, sino también a las aguas y al aire. Las profundidades del mar constituyen la única región del planeta en que viven otros animales, pero que está vedada hasta ahora al hombre.

Esta preeminencia que el hombre ha conseguido no es debida a una superioridad general de su cuerpo, se debe a la superioridad de su encéfalo y a las actividades consiguientes que designamos como mente. El encéfalo es, pues, el único órgano extraordinariamente desarrollado en el hombre y que lo señala como diferente de los animales inferiores.

El encéfalo humano.

El encéfalo humano coincide, en lo fundamental, con el de los otros vertebrados; se distingue de todos los otros encéfalos especialmente por el mayor tamaño de los hemisferios cerebrales; visto por encima el cerebro cubre y tapa el resto del encéfalo. El cerebro del hombre es también notable por el número y profundidad de los surcos que presenta en su superficie y que separan las *circunvoluciones*.

El peso del encéfalo humano constituye aproximadamente

una 42ava parte del peso del cuerpo; en los vertebrados inferiores la proporción es mucho menor; en el canguro (que es uno de los mamíferos inferiores) el peso del encéfalo es sólo una 711ava parte del peso del cuerpo.

El cerebro.

La parte interior del cerebro es de color blanco y se llama *sustancia blanca*; la parte exterior es una capa de materia gris llamada frecuentemente *sustancia gris* o corteza cerebral. Esta capa exterior gris tiene prácticamente un grueso uniforme de medio centímetro por todo el cerebro, tanto sobre las circunvoluciones como en las anfractuosidades; de lo que se sigue que cuanto mayor sean el número y la profundidad de las anfractuosidades tanto mayor será la cantidad de corteza cerebral.

Los cuerpos de las neuronas del cerebro están situados principalmente en la corteza cerebral; se ha calculado que existen unos nueve mil millones de neuronas en el cerebro y se ha calculado también que estas células nerviosas, sin los tejidos de sostén, no pesarían más de media onza. Los elementos nerviosos de la sustancia blanca del encéfalo son las fibras nerviosas (axones) que enlazan las diferentes neuronas de la sustancia gris entre sí y con las neuronas de otras partes del cuerpo.

Funciones del cerebro y cerebelo.

Se admite generalmente que el cerebro es la sede de la conciencia y de todo lo que la acompaña y, así, razonamiento, memoria y actividad voluntaria están relacionados con el cerebro.

Las actividades del cerebelo son completamente inconscientes; parece ser el gran centro de coordinación de la actividad muscular voluntaria. Así, el impulso causante de la iniciación de una actividad compleja, como el andar, viene del cerebro, pero la exacta coordinación del gran número de músculos utilizados

en esta actividad queda a cargo del cerebelo. El cerebelo se relaciona especialmente con la actividad muscular necesaria para mantener el equilibrio; función importantísima en un bípedo.

Centros corticales.

Se ha descubierto que regiones determinadas de la corteza cerebral están asociadas con el movimiento o con la sensibilidad en partes determinadas del cuerpo; así, por ejemplo, hay un grupo de células que ocupa cierta región de la corteza que cuando son estimuladas produce la contracción del brazo; otra región contiene células que rigen los músculos de la pierna y otras están relacionadas con diversas partes del cuerpo. Se han señalado también algunas regiones sensoriales, como las de la vista y oído, pero están menos bien conocidas.

La interpretación que se debe dar a estos hechos es que cada una de estas regiones encierra un grupo de neuronas que tienen relación (mediante neuronas de asociación) con los músculos que activan o con los órganos de los sentidos de que reciben impulsos sensoriales.

Centros de asociación.

Los centros cerebrales de que hemos hablado no pueden funcionar eficazmente solos: cuando miramos una página impresa y leemos en alta voz lo que vemos, tienen que cooperar varios centros de asociación. Mediante los nervios ópticos es estimulado el centro visual, situado en la parte de atrás del cerebro, pero no habría lectura en alta voz si de algún modo el estímulo no fuese transmitido al centro del lenguaje hablado y a los centros de los músculos correspondientes. Esta asociación entre los centros sensoriales y los motores se produce mediante un tercer grupo de neuronas cuyos cuerpos están situados en la corteza cerebral y constituyen un centro de asociación. Estos centros son

numerosos e importantes. Indudablemente una diferencia muy notable entre el encéfalo del hombre y los de los animales inferiores está en el mayor número y variedad de asociaciones posibles en aquél.

Orden de desarrollo.

En general, se puede decir que los principales centros motrices y sensoriales del encéfalo están desarrollados al nacimiento, en el sentido de que las fibras de unión están, ya entonces, en disposición de transmitir impulsos. Los centros de asociación adquieren más tarde su plenitud, principalmente después del nacimiento. Las diferencias que se conocen respecto al tiempo de alcanzar su plenitud las partes del encéfalo, sugiere la idea de que la incapacidad del niño para aprender prematuramente actividades como las de andar y hablar, es posible que se deba al incompleto desarrollo de las partes correspondientes del sistema nervioso. Estudios ulteriores tendrán que demostrar si el adquirir ciertos tipos particulares de instrucción durante la edad escolar está relacionado con el desarrollo estructural del encéfalo, y hasta qué punto.

Diferencias en la capacidad mental.

Es bien sabido que los hombres difieren por su capacidad mental. Esto puede referirse a diferencia en el nivel general de la actividad mental, como la que existe entre una persona normal y un deficiente mental, o se puede referir sólo a un campo particular de la actividad. Ejemplo de esto último es el hecho tan conocido de que en todas las escuelas ciertos alumnos sobresalen en matemáticas, otros en música, arte u otras materias.

En muchos casos estas diferencias son hereditarias y por consiguiente innatas; en otros casos, indudablemente, son resultado del medio. Hay que suponer que, cuando existe una base heredi-

taria, se deben a diferencias en el número, disposición o calidad de las células nerviosas del encéfalo. La sordera congénita, por ejemplo, puede ser debida a la ausencia de los receptores en el oído, o a la ausencia de las neuronas que enlazan el oído con el encéfalo, o a la ausencia de las células del centro auditivo de éste o a la falta de las neuronas que deben intervenir para establecer las sinapsis adecuadas entre unas y otras. De un modo análogo el oído extraordinariamente bueno se debe probablemente a una perfección mayor de la media, del aparato antes mencionado y al funcionamiento adecuado de las partes no nerviosas relacionadas con este sentido.

Desde el punto de vista pedagógico es necesario reconocer que existen diferencias mentales individuales y que estas diferencias, en muchos casos, son tan inmodificables como el color de los ojos o la forma de la nariz; pero si no es dado suprimir las diferencias mentales, la educación puede, en cambio, adaptarse a ellas, como se hace actualmente por la instrucción individualizada, las secciones graduadas y otros métodos docentes. En capítulos siguientes se estudiarán con mayor amplitud estas diferencias y su herencia.

Memoria.

Es una observación vulgar que lo experimentado anteriormente, ha dejado tras sí una huella en el sistema nervioso. -Sabemos esto de nosotros mismos, porque recordamos los acontecimientos pasados. Sabemos que esto ha de ocurrir también en los animales inferiores, porque rápidamente aprenden a acudir para comer a un lugar determinado o a reaccionar a una llamada particular; incluso la lombriz de tierra que aprende a evitar el camino donde recibe la descarga eléctrica (pág. 59), ha de tener alguna clase de memoria de sus experiencias precedentes. Es evidente que todo lo que se refiere a aprender ha de estar relacionado con la memoria.

Inteligencia.

Al tratar de la inteligencia estamos ciertamente en el límite entre la Biología y la Psicología si realmente no lo hemos pasado ya. No intentaremos definir la inteligencia, pero algunas observaciones acerca de la inteligencia y de la conducta inteligente estarán aquí en su lugar.

Si recordamos la división de la conducta en dos tipos («sistema de acción fijo e invariable y heredado» y «capacidad de modificación individual») es evidente que la conducta inteligente cae dentro de la última clase. Mientras que la lombriz de tierra o el insecto se rigen casi por completo por instintos y reflejos «fijos e invariables», la conducta del hombre está en gran parte fundada en la experiencia; así, nosotros evitamos las abejas y las avispas no por ningún reflejo ni instinto, sino a causa de experiencias anteriores; podemos haber oído referir sus costumbres, o haber leído sobre éstas; podemos haber sido testigos del encuentro de alguien con aquellos insectos o nos pueden haber picado.

Se admite que la sede de la inteligencia está en el encéfalo y es probable que lo esté principalmente en la sustancia gris de la corteza cerebral. La marcha real en las neuronas, de las actividades relacionadas con el pensar u otra actividad inteligente, es tan complicada que no ha sido comprendida todavía. Indudablemente en el proceso de pensar existe un paso de impulsos nerviosos de un grupo de neuronas a otro en el encéfalo. Las fibras de asociación parecen estar bien adaptadas para esta transmisión. Es muy probable que esta transmisión de impulsos, aun en procesos mentales sencillísimos, comprenda varios millones de neuronas.

En todo caso la disposición de las neuronas en el encéfalo es de tal suerte que facilita la transmisión de impulsos. Se recordará que en los animales inferiores la disposición de las neuronas determina caminos directos y en corto número, que permiten

la conducta refleja, pero nada más. En la médula espinal de los vertebrados existen ramificaciones mucho más extensas de las neuronas y conexiones más numerosas. En el cerebro las conexiones de las neuronas se elevan al grado máximo y en este órgano es por consiguiente donde existe el número mayor de vías alternativas; así, cuando ciertas neuronas sensitivas de la vista y del oído son excitadas por la luz o el sonido, transmiten el impulso a millones de otras neuronas, éstas a otros millones y así sucesivamente hasta que varios cientos de millones de neuronas pueden haber tomado parte en el pensamiento que resulta de la impresión original recibida en el ojo o en el oído.

Herrick ha calculado que si un millón de neuronas se uniera a otro, en grupos de a dos, en todas las combinaciones posibles, el número de combinaciones estaría representado por 10 seguido de 2.783.000 cifras. En realidad las neuronas no están relacionadas exactamente de esta manera, pero en la corteza cerebral existen aproximadamente nueve mil millones de neuronas; este número es aproximadamente cuatro veces y media mayor que el número de segundos de una vida de setenta años. Las conexiones reales entre todas estas neuronas es indudable que ofrecen un conjunto de combinaciones mucho mayor que el número antes mencionado. Las posibilidades de la corteza cerebral son, por tanto, prácticamente infinitas.

Los vertebrados difieren mucho en cuanto al tamaño del encefalo y en el número de las circunvoluciones y, como consecuencia de ello, existen las correspondientes diferencias en la cantidad de corteza cerebral y número de neuronas. Los vertebrados inferiores, como la rana, tienen poca corteza; pero a medida que ascendemos en la escala aumenta la cantidad de materia gris. De un modo general, la capacidad de aprender por experiencia es proporcionada al desarrollo de la corteza cerebral.

Desarrollo del sistema nervioso.

El niño al nacer tiene un sistema nervioso mucho más extenso y complejo que el de ningún animal. Todas las partes de su sistema nervioso están ya presentes en una forma parecida a la que tendrán finalmente; después del nacimiento, en las neuronas, hay poca o ninguna división celular, pues el niño tiene entonces aproximadamente los nueve mil millones de neuronas en la corteza cerebral, así como también todas las neuronas en el resto del cuerpo, que tendrá cuando llegue a adulto.

El hecho de que los elementos del sistema nervioso estén todos presentes, no indica que el sistema nervioso sea perfecto al nacimiento; muchas de las células que más tarde serán neuronas funcionales están todavía en un estado relativamente indiferenciado; muchas neuronas que se han diferenciado de las células que las rodean, tienen aún poco desarrollo de axones y dendritas. Como consecuencia de esto existen grandes regiones del sistema nervioso, especialmente en la corteza cerebral, en la que las células no han empezado todavía a desempeñar sus funciones de neuronas.

El desarrollo de las neuronas es un fenómeno de crecimiento; axones y dendritas crecen a partir de las células, y de este modo entran éstas en relación unas con otras. Es evidente, por la naturaleza misma del sistema nervioso, que las neuronas sólo pueden ser de utilidad si están en comunicación con otras; la formación de sinapsis entre neuronas es, por consiguiente, condición previa para su utilidad. El desarrollo continuado de las diferentes neuronas y la realización de los contactos entre ellas marcha paralelamente con el desarrollo del cuerpo y de las facultades mentales.

No sabemos hasta qué edad puede continuar el desarrollo de las neuronas, pero por lo menos pueden seguir creciendo aún mucho tiempo después del período de adolescencia. Algunos investigadores creen que la facultad de crecimiento puede sub-

sistir en las neuronas durante toda la vida. Indudablemente su capacidad de desarrollo es mayor al principio de la vida que después.

Desvalimiento de la infancia.

El hombre tiene la infancia más larga de lo que es común en otros animales. Un número muy grande de animales se desarrollan en un año o menos; para un número relativamente pequeño el período comprendido entre el nacimiento y la edad adulta se extiende a más de dos años. El largo período en que los niños son incapaces de cuidar de sí mismos es por algunos conceptos una desventaja para la especie humana; pero, por otros conceptos, es una ventaja.

Las desventajas de la infancia nos las muestra la elevadísima mortalidad que existe en los niños pequeños, que puede ser debida, en parte considerable, a su incapacidad de cuidar de sí mismos, unido a la falta de cuidados de sus padres. En todo caso, los primeros años de la vida son los más peligrosos: durante el decenio de 1871 a 1880, en una gran ciudad americana, los fallecimientos de niños menores de un año fueron más del 34 por 100 de la totalidad de fallecimientos. Proporciones elevadas semejantes a ésta se produjeron también en aquel tiempo en otras partes de América, como han ocurrido en la mayor parte de los sitios desde los tiempos más antiguos de que tenemos información. Mientras que los últimos años han traído gran mejora en este respecto en las naciones adelantadas, la situación frecuentemente es muy mala en naciones que no practican las precauciones sanitarias modernas.

Durante los tres últimos decenios ha disminuido mucho el peligro para los niños en América. Los adelantos logrados en la ciencia médica y sanitaria han permitido mejor cuidado de los niños con el consiguiente ahorro de vidas. La ciudad a que antes nos hemos referido, lo mismo que otras poblaciones adelanta-

das, ha estado trabajando por mejorar el cuidado de los niños, y el resultado ha sido que en aquella ciudad la mortalidad de niños menores de un año ha bajado desde la alta proporción de 42 por 100 de la mortalidad total en 1868, a 13 por 100 aproximadamente en 1925, y probablemente a menos en los últimos años. En 1868, los fallecimientos de niños menores de un año llegaban al 10,04 por 1.000 de habitantes de la ciudad; en 1927, la proporción había bajado a 1,23 por 1.000. Aun en 1918, de cada 1.000 niños nacidos 117 morían en el primer año; pero en 1927 esta proporción había quedado reducida a 62,8 por 1.000 nacidos. Progresos semejantes se han observado en muchas otras ciudades.

La incapacidad general de valerse por sí mismos los niños está en correlación con un cuidado paternal más extenso que el que vemos en los animales, pero los cuidados prestados están a veces muy lejos de la perfección, como lo muestran los hechos que se acaban de mencionar. Los cuidados paternos adecuados compensan con exceso los peligros debidos al desvalimiento en los niños. Las grandes reducciones de mortalidad infantil logradas en los últimos años se deben en gran parte a nuevos descubrimientos y a la mejor aplicación de los conocimientos sanitarios hecha por padres mejor educados en lo que se refiere al cuidado de los niños.

Infancia y desarrollo mental.

El largo período que media entre el nacimiento y la adolescencia, aunque constituye una posible amenaza para la prosperidad física, es una gran ventaja para el desarrollo mental. Una lombriz de tierra nace con todos los reflejos e instintos necesarios para un tipo de conducta que le permitirá seguir viviendo; su vida es sencilla y su conducta lo es igualmente; aprende poco, pero tiene poco que aprender. El niño recién nacido, por el contrario, no está equipado con los mecanismos de conducta nece-

sarios para marchar en la vida y afrontar los difíciles problemas de la existencia humana: la conducta humana tiene que ser aprendida.

El niño posee, desde el principio, un cierto número de reflejos: si se le pincha en un dedo de los pies, retira el pie; si se le tocan los labios empieza los movimientos succión. Casi todos los niños poseen el reflejo de agarrar y si se les pone en la mano un objeto apropiado se agarran a él con fuerza suficiente para soportar el peso del cuerpo; presentan también las emociones relacionadas con el miedo, cólera y alegría; pueden tener asimismo otros reflejos y emociones, pero no son tan marcados. La mayor parte de los reflejos, hábitos y actitudes emocionales, y todo lo demás que constituye la conducta humana, tiene que ser adquirido.

Existe una enorme cantidad de cosas que el niño ha de aprender en los primeros años de su vida; los tres primeros son años muy ocupados: el niño «no está quieto ni un minuto». Los movimientos ineficaces y hechos al azar, de los primeros días, se coordinan gradualmente y por fin ocurre el andar, correr, trepar y la destreza manual. Durante el mismo período de tiempo el niño ha tocado, manejado y gustado todos los objetos a su alcance; ha descubierto que la estufa está caliente, que el gato araña y que las sillas pueden caerse. Ha aprendido también el lenguaje de los que le rodean, cosa sumamente dificultosa de realizar; ha aprendido muchas cosas acerca del medio humano: los convencionalismos y *tabús* de la sociedad y las características y preferencias de los hombres que tiene a su alrededor.

No hay otro período en la vida en que se aprenda tanto en tan poco tiempo como en los primeros años. El hecho de que en el niño esté predeterminado por reflejos e instintos un número relativamente pequeño de tipos de conducta, ofrece indudablemente mejor oportunidad para la formación de modos de conducirse ajustados a las situaciones que surgen en la práctica. Por-

que los modos de comportarse se desarrollan en estrecha dependencia de las situaciones que hay que afrontar, es por lo que el hombre resulta el más adaptable de los organismos.

Importancia de la infancia.

El niño nace en una sociedad sumamente compleja; quizás ningún conjunto de emociones instintivas y reflejos heredados podría hacerle apto para su situación. Aunque el hombre hubiese estado dotado de un tipo hereditario de conducta que le hubiera proporcionado adaptación completa a las condiciones existentes al comienzo de la historia de la humanidad, las adaptaciones hereditarias no llenarían las condiciones sociales, radicalmente distintas, del tiempo actual.

Cada generación encuentra nuevas exigencias y cada individuo es requerido a adaptarse a situaciones en las que nunca no se había encontrado; puede, incluso, verse en la necesidad de adaptarse a situaciones en las que nadie se encontró anteriormente: lo que se necesita no es tanto un organismo adaptado como un organismo adaptable. Los años de la infancia son necesarios para el desarrollo de las facultades mentales.

La infancia no es menos importante para la humanidad que lo es para el individuo. Es difícil imaginar cómo hubiese podido desarrollarse la civilización sin infancia. Los conocimientos, ideas, ideales, creencias, prejuicios y costumbres que constituyen la herencia social que una generación ha recibido de la inmediata anterior, no se han transmitido por herencia; han tenido que ser aprendidas por cada generación, de la precedente: sólo así es posible para una nueva generación el partir desde un punto situado más adelante que el de partida de la generación precedente. Sin el impresionable período de infancia, en el que rápidamente se aprende, lo que se acumuló del pasado se transmitiría con menos facilidad y el progreso sería dificultoso o imposible.

La infancia es el período en que se adquieren los tipos fundamentales de conducta; durante este período de adquisición se echan los cimientos de la conducta futura. La naturaleza ha impuesto a los padres la responsabilidad de la educación de los hijos, la sociedad ha añadido el maestro; ninguno de ellos puede traspasar por completo al otro su tarea.

Aprendizaje y edad.

No tiene fundamento científico la idea de que la gente de media edad es demasiado vieja para aprender. Las investigaciones de los neurólogos indican que las células de la corteza cerebral conservan su poder de desarrollo durante muchos años y quizás durante toda la vida (pág. 80); esto nos llevaría a esperar que la facultad de aprender continuase también. Los psicólogos han encontrado, en realidad, que no hay límite de edad para aprender. Es cierto que la velocidad general en el aprender no es tan grande en las personas mayores como durante la infancia y adolescencia. Las personas mayores necesitan, por consiguiente, algo más de tiempo para una tarea dada; pero incluso esta desventaja puede estar compensada por la ventaja de hábitos, más firmemente fijados, de laboriosidad y aplicación. Es una experiencia común de los que han estado separados de los estudios uno o varios años, el encontrar, cuando vuelven a ellos, que les es muy difícil el aplicar su inteligencia y recordar lo que leen. La aplicación continuada produce, como quiera que sea, un perfeccionamiento. Los que durante varios años no han tenido interés en aprender ni lo han intentado, son los que encontrarán mayor dificultad en hacerlo.

CAPITULO IX

VENTANAS QUE DAN AL MUNDO

Calabozos y receptores.

En la Edad Media no era raro castigar a un preso poniéndole en una habitación de paredes de piedra sin otra abertura que una puerta bien cerrada y, a lo sumo, un ventanillo lo suficientemente alto para que el preso no pudiera ver por él. Durante los meses o años de su encierro apenas ninguna impresión de fuera podía llegar al desgraciado habitante del calabozo. Varios escritores han intentado dar una idea del sufrimiento resultante de tal situación, pero es probable que ninguno haya conseguido reflejar su extremo horror.

Ninguna víctima de la cólera de su señor ha estado tan por completo secuestrada del mundo como cada uno de nosotros lo estaría sin los sentidos. Son éstos, verdaderamente, las ventanas que dan al mundo y por ellas recibimos todo el conocimiento que podamos llegar a poseer del medio que nos rodea. El prisionero, en su calabozo, podía oír algunos sonidos, ver algunos rayos de luz o recoger algún vago indicio del mundo exterior; mientras que sin los sentidos el mundo no podría de ningún modo acercarse al cerebro humano.

Por los receptores, naturalmente, es por donde el mundo hace su impresión sobre nosotros. Existen órganos receptores tanto en la superficie del cuerpo como en el interior de éste. Los de dentro reciben estímulos que nacen de las condiciones internas del cuerpo, como cuando sentimos hambre, sed o dolor en los órganos internos; otros receptores reciben estímulos de fuera, y a ellos se refiere principalmente la presente exposición.

Algo más acerca de los receptores.

En la exposición que precede del sistema nervioso, se dijo poco acerca de cómo los estímulos inician los impulsos nerviosos: ahora es el momento de examinar más de cerca el papel que desempeñan los receptores. Podemos muy bien preguntar si todos son semejantes y también si un receptor dado es estimulado por toda clase de influencias que le lleguen del exterior o si puede ser selectivo en su acción respondiendo sólo a una determinada clase de estímulos. Mediante ciertos sencillos experimentos sobre la piel, se consigue obtener la respuesta a estas cuestiones.

Algunos receptores en la piel.

Proponemos al lector que se procure varios clavos y que haga que éstos se enfríen hasta un poco por debajo de la temperatura ordinaria de la habitación. Cójase uno por la cabeza con el pulgar y el índice y pásese la punta lentamente por el dorso de la otra mano; el clavo debe ser mantenido de modo que forme ángulo recto con la superficie de la mano para que sólo la punta esté en contacto. Se observará al pronto que la única sensación en el dorso de la mano es la de contacto o tacto, pero a medida que la punta del clavo se mueve lentamente a lo largo, la sensación de frío aparece súbitamente para desaparecer luego de un modo igualmente repentino. Con cuidado es posible señalar en el dorso de la mano regiones sensibles al frío y otras que han reaccionado sólo al tacto.

Si se calientan los clavos, el experimento se puede repetir para determinar la situación de los «campos calientes» en la mano. Si se hace con ellos un mapa, se verá que, ordinariamente, no corresponden con los «campos fríos».

¿Qué nos dice este experimento? La conclusión más satisfactoria es que el experimento demuestra que existen en la ma-

no, por lo menos, tres clases de receptores estimulados respectivamente por el contacto, por el frío y por el calor. Al parecer, ninguno de los tres puede ser estimulado por ninguna de las otras influencias.

Basándose en experimentos como éste se ha visto que hay bastantes clases de receptores y que en circunstancias ordinarias cada clase de receptor es estimulada sólo por una clase de estímulo. Se cree que existen más de veinte clases de receptores.

Los sentidos.

¿Cuántos sentidos hay? Probablemente la respuesta sería que hay tantos sentidos como clases de receptores, pues cada una produce una clase diferente de información. En este libro no se intenta estudiar todos los sentidos; sólo se tratará de los que parecen ser de mayor importancia o interés.

Se han mencionado ya tres sentidos de la piel; a éstos hay que añadir el de dolor y el de presión.

Sentidos internos.

Tres sentidos que se refieren a condiciones internas del cuerpo son el hambre, la sed y el dolor de los órganos viscerales. Además hay receptores en los músculos de la voluntad que informan sobre el estado de contracción de los diferentes músculos; receptores en los tendones informan de la tensión de éstos, y otros en las articulaciones parecen dar noticia de si las articulaciones están en flexión juntos, estos receptores nos permiten conocer la posición de un brazo o pierna sin que sea necesario mirarlos. Están en relación bastante directa con el cerebelo y parecen ser de suma importancia para mantener el equilibrio.

Los sentidos especiales.

Ciertos sentidos importantísimos se ponen a veces aparte de los otros, como sentidos especiales. Son éstos: gusto, olfato, oído y vista; a veces, el tacto se incluye entre ellos. Los órganos de estos sentidos son las puertas principales por las que recibimos información del mundo que nos rodea; tres de ellos —olfato, oído y vista— nos dan noticia de objetos situados a distancia y son, por tanto, doblemente importantes.

El gusto.

En la boca, principalmente en la lengua, hay estructuras conocidas con el nombre de *olivas* o *corpúsculos gustativos* en los que se encuentran los receptores del gusto. Parece que hay cuatro clases de estos receptores, pues existen cuatro clases de sabores y sólo cuatro: dulce, agrio, salado y amargo. Las sustancias sólo cuando están disueltas pueden afectar a los corpúsculos gustativos; por consiguiente, las sustancias insolubles carecen de gusto.

Aunque realmente no existen más que los cuatro gustos antes mencionados, es frecuente hablar de muchos gustos y sabores que no están incluidos en estos cuatro. Si introducimos en la boca un pedazo de manzana madura sentimos ciertamente un gusto delicioso que no es ni dulce, ni agrio, ni salado, ni amargo. Ordinariamente se le llama el «sabor» de la manzana. En realidad, los receptores de la boca son completamente incapaces de apreciar el gusto de una manzana. Son los nervios de la nariz los que dan esta noticia al cerebro y el gusto es, por consiguiente, más bien un olor que un sabor. El gusto de una manzana se debe a ciertas sustancias volátiles que, cuando se masca la manzana, pasan al aire y llegan a la nariz por la faringe. Si el paso del aire por la nariz cesa por mantenerla tapada o por obstrucción debida a un fuerte catarro, los gustos desaparecen.

Olfato.

El sentido del olfato está localizado en la nariz donde sus receptores se encuentran en la membrana que tapiza las cavidades nasales. Estos receptores son estimulados por cualquier cosa (como un gas o un sólido pulverizado) que se disuelva en el líquido que forma una mucosidad que cubre al receptor. Es un sentido delicadísimo; se ha calculado que se necesita 24.000 veces más sustancia para estimular el órgano del gusto que para estimular el del olfato, y, sin embargo, este último en "el hombre es pobrísimo en comparación con el mismo sentido en algunos animales como el perro. El olfato en éstos es tan agudo, en comparación con el nuestro, que no tenemos idea del mundo de olores en que viven; seguramente, para muchos animales el olfato es el más importante perceptor a distancia. Un perro nunca queda satisfecho de la identificación de una persona por la vista sino cuando se ha acercado y la ha olido.

Aun cuando es posible reconocer un gran número de olores diferentes, no existe una escala definida de olores como la que tenemos en el caso de los sonidos y colores; quizás a esto se debe el que la memoria de los olores sea con frecuencia muy mala.

Receptores a distancia.

En el caso del tacto, gusto y olfato la sustancia que produce la sensación tiene que ponerse en contacto real con el cuerpo. El oído y la vista proporcionan informes referentes a objetos distantes. El olfato puede también dar información de objetos distantes, pero sólo si alguna parte del objeto, en forma de gas, se difunde por la atmósfera y alcanza a la nariz. Pero ¿cuál es la naturaleza del influjo que va de una campana que suena hasta el oído?

Naturaleza del sonido.

Un sencillo experimento o un poco de reflexión muestra que todos los cuerpos que nos rodean tienen un carácter común: todos vibran. Esto es evidente en varios instrumentos de cuerda, como la guitarra, arpa, violín y piano; la vibración se puede también distinguir en el diapasón y en la campana. En los instrumentos de viento, como los tubos de órgano, la corneta o la flauta, el cuerpo vibrante es una columna de aire en el instrumento y la vibración es, por consiguiente, menos notable, pero puede ser demostrada fácilmente.

Se puede demostrar que el aire, en la proximidad de un cuerpo que emite sonidos, entra también en vibración, tomando las vibraciones la forma de una serie de ondas que se alejan del cuerpo sonoro que es su centro. De estas ondas tenemos una imagen en las que se extiende en círculos crecientes desde el punto donde cae una piedra en un estanque tranquilo. El sonido se puede, por consiguiente, definir como una serie de ondas aéreas emitidas por un cuerpo vibrante; el tono del sonido depende de la frecuencia de las vibraciones. Cuanto más frecuentes sean las vibraciones más altas serán las notas resultantes.

Las ondas sonoras en el aire tienen la propiedad de hacer entrar los objetos en vibración; casi todo el mundo ha observado alguna vez las vibraciones inducidas por las notas procedentes de un tubo de órgano. Los objetos que están templados a la misma nota que el cuerpo sonoro entran muy fácilmente en vibración por las ondas del aire. Así se puede hacer sonar un violín tocando en un piano la nota que puede dar una de las cuerdas del violín. Las vibraciones producidas de este modo se llaman *vibraciones simpáticas*.

El oído.

La parte visible del oído, la oreja, ayuda probablemente con-

centrando las ondas sonoras y dirigiéndolas al conducto auditivo, pues tiene algo de forma de embudo. Este efecto tiene que ser mucho mayor en animales con orejas muy grandes, como el conejo y el ciervo. La capacidad que tienen de volver la oreja hacia el origen del sonido les ha de proporcionar una gran ventaja sobre el hombre, tanto en oír sonidos ligeros como en distinguir su dirección.

En el fondo del conducto auditivo las ondas sonoras chocan con una membrana llamada *tímpano* que cierra el fondo del conducto y esta membrana entra en vibración. Detrás del tímpano hay en el hueso una pequeña cavidad llamada *oído medio*; un corto tubo, la *trompa de Eustaquio*, va del oído medio a la garganta; la importancia principal de este tubo es que permite que la presión del aire del oído medio, y, por consiguiente, en la cara interior del tímpano, sea igual a la del exterior. Una cadena formada por tres huesecillos se extiende desde el tímpano al *oído interno* atravesando el oído medio. Las vibraciones del aire se transmiten así desde el tímpano, por la cadena de huesecillos, al oído interno, en el que están localizados los receptores del oído.

El oído interno.

Las partes principales del oído interno son el *caracol* y los *conductos semicirculares*. Son todas cámaras membranosas situadas en el hueso y llenas de líquido; los conductos semicirculares no interesan al oído y por consiguiente se tratará de ellos en otra ocasión; el caracol es un tubo espiral de forma parecida a la concha de un caracol, de lo que viene nombre que se le ha dado. Las terminaciones receptoras de las fibras del nervio auditivo se distribuyen por la superficie de una membrana que tapiza el caracol y están por consiguiente en situación de ser estimuladas por la vibración del líquido del oído interno. Los impulsos originados por esta estimulación y llevados al centro auditivo del cerebro son reconocidos como sonidos. Los receptores del

sonido no son todos exactamente iguales. Cada receptor puede ser estimulado sólo por un cierto tono, del mismo modo que cada cuerda del violín entra en vibración simpática sólo cuando se da en el piano la nota adecuada. Aún no se sabe exactamente a qué mecanismo real en el oído se debe esta acción selectiva, pero los resultados están perfectamente claros en la capacidad que tenemos de distinguir sonidos de diferente tono, incluso cuando se producen simultáneamente.

Un individuo puede oír un sonido de un tono determinado sólo si su oído contiene los receptores apropiados. El oído humano tiene receptores capaces para la recepción de sonidos de frecuencia comprendida entre unas 16 vibraciones por segundo y 30.000 ó 40.000 vibraciones por segundo; cualquier sonido que se produzca de frecuencia mayor a menor no es oído. Los experimentos muestran que en las frecuencias mayores hay una gran diferencia entre los individuos, pues unos pueden oír sonidos de tono muy alto donde otros no oyen nada. Es posible y aun probable que algunos animales produzcan y oigan sonidos que están completamente fuera de la extensión de nuestro oído. Se dice que es factible enseñar a los perros a obedecer sonidos hechos con un pito de tono tan alto que el sonido no sea perceptible para el hombre.

Reconocimiento de la dirección del sonido.

Es de experiencia común que se puede reconocer hasta cierto punto la dirección en que vienen los sonidos, pero que nos equivocamos con frecuencia. Cuando se reconoce con exactitud la dirección, esto parece depender de la diferencia de intensidad en los dos oídos y de la diferencia de tiempo. Es evidente que un sonido producido por un objeto situado a la derecha del observador se oye más intensamente en el oído derecho y que cada onda sonora tiene que llegar al oído derecho una pequeña fracción de segundo antes. Los animales que tienen orejas grandes y

movibles como el conejo, poseen indudablemente una ventaja en este respecto, pues moviendo la oreja pueden determinar la dirección de máxima intensidad. Nosotros podemos obtener el mismo resultado experimentalmente aplicando un megáfono al oído y volviéndolo en varias direcciones.

Fácilmente se descubre que el sentido humano de dirección del sonido no es muy preciso, si notamos la frecuencia con que nos engañamos. Conocemos el lugar de donde vienen los sonidos ordinarios en la casa porque reconocemos qué sonidos son y sabemos por consiguiente de dónde vienen; pero no podemos determinar así el origen de un sonido inusitado y de ordinario resulta sumamente enigmático. Los ventrílocuos se aprovechan de esta particularidad para engañar al público acerca del origen de los sonidos que emiten; pueden sugerirnos que hay alguien en el desván, e imitando la calidad y sonoridad de una voz a esta distancia consiguen hacernos fijar tanto la atención en el desván que dejamos, por completo, de notar la leve indicación de dirección que nos dan nuestros oídos.

Oído y éxito en la escuela.

En el oído como en otros caracteres existen grandes diferencias individuales. Las diferencias principales del oído relacionadas con la escuela se refieren a la agudeza. Si tomamos como normal el grado de agudeza auditiva suficiente para los fines ordinarios, encontraremos que existe una serie de individuos que va desde aquéllos cuyo oído es más agudo de lo normal hasta la sordera completa, pasando por todos los grados intermedios. Se ha calculado que en los niños en edad escolar hay de un 10 a un 20 por 100 que no oyen normalmente; de un 2 a un 5 por 100 tienen el oído muy defectuoso.

El problema del maestro no está principalmente en el grupo de los que tienen el oído más defectuoso; si un niño es sordo no estará en la escuela ordinaria, y si es notablemente duro de oído

se puede suponer que sus padres le proporcionen los cuidados médicos que estén a su alcance y que los maestros le coloquen en la primera fila de la clase y que por otros medios adapten la instrucción a sus necesidades.

El problema verdadero del oído en las escuelas es el de aquellos que son realmente duros de oído, pero no lo bastante para ser reconocidos como tales. Estos niños son de ordinario retrasados y por lo común parecen torpes. Desde un principio, la adquisición del lenguaje ha encontrado obstáculos porque la palabra hablada es imperfectamente comprendida y del mismo modo las instrucciones y tareas señaladas por el maestro son imperfectamente entendidas y a consecuencia de ello los trabajos escolares no resultan bien hechos. El niño, de ordinario, no está más enterado que el maestro del trastorno que realmente padece y propende a engañarse por completo acerca de cómo otros alumnos pueden entender lo que hay que hacer.

Los maestros y los padres han de tener siempre presente como posible explicación del retraso o torpeza de un niño, los defectos del oído y han de cuidar de que, en todos los casos en que haya la sospecha, se apliquen los *tests* adecuados. Los detalles de éstos corresponden más bien al terreno especial de la higiene escolar que al campo general de la biología.

Infecciones del oído.

Se ha indicado anteriormente que la trompa de Eustaquio une el oído medio con la garganta. Esta unión es necesaria, como se indicó, para permitir el equilibrio entre la presión del aire dentro del oído y fuera, pero desgraciadamente permite también el paso de gérmenes al oído medio. Cuando hay inflamación en la garganta debida a que han colonizado en las membranas de ésta gérmenes patógenos de cualquier clase, existe la posibilidad de que el área infectada se extienda por la trompa de Eustaquio y alcance el oído medio. Los catarros y otros males de garganta

crónicos, adenoides y amígdalas enfermas ofrecen continua provisión de gérmenes en la garganta prestos a invadir el oído medio en cualquier momento para ellos favorable. El sonarse con fuerza las narices como se hace ordinariamente cuando se tiene un catarro y la nariz y boca están llenos de gérmenes, puede ayudar a que éstos entren por las trompas de Eustaquio.

Una vez que está infectado el oído medio, la inflamación de los tejidos puede fácilmente cerrar la trompa de Eustaquio, de manera que no haya salida para el pus que pronto se acumula. Esta acumulación de pus y gases causa considerable presión con el consiguiente dolor, comúnmente llamado dolor de oídos. Ordinariamente, al cabo de tiempo el tímpano se perfora y el pus sale de este modo produciendo una supuración de oído. A veces la infección pasa a unas cavidades (senos mastoideos) del mismo hueso en que está el oído, de lo cual se pueden seguir consecuencias más graves. La inflamación del tímpano y de los tejidos que unen los huesecillos del oído medio causa a veces tal engrosamiento y endurecimiento de estas partes que el oído queda permanentemente lisiado. En todos los casos en que se sospecha la existencia de infección en el oído medio se debería recurrir a un médico experto.

Los conductos semicirculares.

Esta parte del oído parece no tener relación con la audición; es, en cambio, un órgano de equilibrio. Como cada conducto semicircular desemboca por ambos extremos en una cámara común (*utrículo*) resulta que cada canal es prácticamente un conducto circular más bien que semicircular. Los tres conductos de un oído están colocados aproximadamente del siguiente modo: dos están en planos verticales perpendiculares entre sí y el tercero es horizontal y perpendicular a los otros dos.

Los conductos semicirculares están llenos de líquido, de donde resulta que si la cabeza se vuelve a la derecha o a la izquierda

el líquido del canal situado en el plano horizontal, debido a su inercia, tiende a permanecer estacionario; un ejemplo de esto lo tenemos al hacer girar un cubo lleno de agua: el cubo gira mientras que el agua permanece casi en reposo. En los canales el efecto es el mismo que si la cabeza estuviese quieta y el líquido se moviese. Los nervios que terminan en los canales, en ciertos puntos, son excitados por el movimiento relativo del líquido y este estímulo es llevado al encéfalo y utilizado en producir movimientos compensadores que mantienen el equilibrio.

Es significativo que mientras la vía nerviosa principal que parte del caracol va al cerebro, la conexión principal de los canales semicirculares es con el cerebelo que es la parte del encéfalo más relacionada con el equilibrio.

El sentido de equilibrio, en cuanto depende del oído, no está muy desarrollado en el hombre; está auxiliado por sensaciones visuales, musculares, articulares y de los tendones y quizás también de otros modos, de manera que no dependemos por completo del órgano del equilibrio. Ahora que el hombre ha empezado a volar, los canales semicirculares adquieren una importancia mayor, pues un aviador en la niebla apenas tiene otro recurso en cuanto se refiere a los sentidos; por lo cual es importante determinar la perfección con que éste funciona en los que pretenden ser aviadores. Las aves, en este punto, parecen estar mucho mejor dotadas que el hombre.

CAPÍTULO X

LA VISTA, EL REY DE LOS SENTIDOS

Importancia de la vista.

Nada hay que nos produzca más pronto sentimiento de compasión que el ver a un ciego; nada excita con mayor fuerza y más universalmente la caridad que la ceguera. Se considera de ordinario la pérdida de la vista como una de las mayores tragedias de la vida, excedida sólo por la pérdida de vista y oído juntamente.

Nadie pretende el educar ciegos o mudos junto con individuos normales; menos apreciados son, por el contrario, la importancia del cuidado adecuado de los ojos, especialmente durante la edad escolar, y las graves consecuencias para el adelanto en la escuela que se siguen de defectos pequeños al parecer. En este capítulo procuraremos dar al lector algún conocimiento de la estructura y funcionamiento de este órgano de los sentidos tan complejo y delicado.

Estructura del ojo.

El globo del ojo es de forma casi esférica, pero con un saliente en la parte anterior llamada *córnea*. En la parte de atrás del globo hay una capa de tejido nervioso que contiene los receptores para la luz; esta capa se llama *retina*; de su estructura y funcionamiento hablaremos más adelante.

La función principal de las otras partes del globo del ojo es producir sobre la retina una imagen de los objetos. Del modo como esto se realiza tenemos un sencillo ejemplo utilizando una lente de aumento y una hoja de papel. Colóquese la hoja de papel frente a una ventana iluminada, dentro de la habitación; sosténgase la lente de aumento entre el papel y la ventana a unos

centímetros de aquél de manera que la luz procedente de la ventana pasando por la lente brille sobre el papel; muévase entonces despacio la lente hacia el papel hasta que se vea sobre él una imagen bien precisa de la ventana, invertida. Esto nos muestra la formación de las imágenes.

Una imagen formada según se acaba de indicar no es fácil que resulte satisfactoria porque llega al papel mucha luz de otros orígenes y la hace débil. Mejores resultados se obtienen con un aparato fotográfico en el cual hay una caja o fuelle que detiene toda luz que no proceda de la lente. Una cámara fotográfica es realmente tan parecida al ojo, que se puede utilizar muy bien para la demostración. La pared exterior del globo del ojo es gruesa, resistente y opaca, excepto en la córnea que es más delicada y completamente transparente. En la base de la córnea existe como una cortina (*iris*) que presenta una abertura redonda (pupila); el iris es la parte de color del ojo que nos es familiar; puede ser azul, gris o de diferentes matices de pardo y hasta acercarse al negro; el tamaño de la abertura o pupila varía por la acción de fibras musculares del iris. Inmediatamente, detrás de la pupila, está la *lente* o *crystalino* del ojo; tiene forma biconvexa, es preciosamente claro y transparente y está mantenido en su lugar por un ligamento adherido a la pared del ojo. La *retina*, que tapiza el interior del globo del ojo en el fondo, se extiende hacia adelante por todos lados casi hasta el iris; tiene detrás un forro casi negro que evita reflexiones que confundan. Se notará que el iris, cristalino y ligamentos del cristalino dividen el globo del ojo en dos cámaras: la cámara anterior (entre la córnea y el cristalino) está llena de un líquido transparente llamado *humor acuoso*; la cámara situada detrás del cristalino está llena de un *humor vítreo* algo parecido a jalea.

Cómo funcionan los ojos.

Los únicos rayos de luz que llegan a la retina son los que pa-

san por la pupila. Evidentemente tienen que pasar también por el cristalino y de este modo son llevados a un foco formando una imagen sobre la retina. La formación de la imagen no se debe por completo al cristalino, pues los rayos tienen que pasar primero a través de la córnea que tiene también forma de lente. La córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo cooperan todos a formar la imagen.

En los experimentos con imágenes formadas sobre una hoja de papel con una lente de aumento, como el indicado antes, se puede observar que es necesario ajustar muy exactamente la posición de la lente si se quiere obtener una imagen clara. Este ajustar la lente es lo que se llama *enfocar*. Se observa también que los objetos próximos y los distantes (por ejemplo, la ventana y el paisaje) no están enfocados al mismo tiempo; es necesario enfocar cada uno separadamente.

En el ojo es imposible para enfocar mover el cristalino; el enfoque se realiza cambiando la forma de éste. Por medio de ciertos músculos del ojo el cristalino puede hacerse más o menos convexo; es decir, más y menos abultado. No se pueden exponer aquí los detalles de este aparato, pero el resultado general es que, cuando los músculos enfocadores (*músculos ciliares*) se contraen, el cristalino se hace más convexo y los objetos próximos quedan enfocados sobre la retina; cuando aquellos músculos se relajan, la elasticidad hace que el cristalino se haga más plano y están enfocados objetos distantes. Nótese que el enfocar objetos próximos requiere esfuerzo muscular, y el enfocar objetos distantes exige sólo relajación de los músculos.

La retina.

En una cámara fotográfica la película o la placa sobre la que se produce la imagen ofrece una superficie sensible a la luz.

Si se examina microscópicamente la retina, se observa que

tiene una estructura complicadísima que aquí no es necesario describir en todas sus partes. Se ve que hay en la retina dos clases de terminaciones nerviosas llamadas, de acuerdo con su forma, *conos* y *bastones*. Se cree que los conos son los sensibles al color y que los bastones informan acerca de la intensidad de la luz. Esto quizás explica el hecho de que con poca luz no se distinguen los colores, pero se reconozca la intensidad de la iluminación; parece que los bastones son más sensibles que los conos.

Estos bastones y conos están unidos por cadenas de neuronas con el centro de la visión en la parte posterior del cerebro. El nervio óptico está formado por los axones de estas neuronas. Cuando uno de los receptores de la retina es excitado por la luz, el impulso nervioso pasa por el nervio óptico y cerebro al centro visual; por consiguiente, la situación verdadera de la visión está en la corteza cerebral.

Colores y visión de los colores.

Sabido es que si un rayo de luz pasa por un prisma de vidrio, el rayo se dispersa formando una faja de colores que van desde el rojo en un extremo al violeta en el otro, pasando por el anaranjado, amarillo, verde, azul y añil: esto es lo que se llama espectro. Todos los colores que se ven en los objetos o son colores puros del espectro o mezclas de estos colores: ordinariamente son mezclas. Aun cuando usualmente se mencionan siete colores del espectro o del arco iris, esta división es algo arbitraria. En realidad, todos los colores conocidos pueden formarse mezclando luz de tres colores del espectro: rojo, verde y violeta.

Los colores primarios de los pintores, por cuya mezcla forman todos los colores y matices, son: rojo, amarillo y azul. La diferencia llamativa es la sustitución del verde por el amarillo. La razón de esta diferencia es que el pintor mezcla pinturas, no luces. Una pintura amarilla no produce luz amarilla, solamente

elimina otros colores, de manera que queda el amarillo. Mezclando pinturas, por consiguiente, no se producen los mismos resultados que mezclando luces de color. Lo importante es que, en ambos casos, sólo es necesario usar tres colores para producir los efectos deseados.

¿Cuál es la verdadera naturaleza de la luz? Como el sonido, la luz es debida a vibraciones, y las diferencias de color en la luz, como las de tono en el sonido, se deben a diferencias en la frecuencia de las vibraciones. La luz va del cuerpo luminoso al ojo como una serie de ondas, como ocurre también en el caso del sonido; pero no son ondas aéreas de las que ahora hemos de ocuparnos. Las ondas aéreas se propagan sólo con una velocidad de unos 340 metros por segundo, mientras que la luz lo hace con una velocidad de 300.000 kilómetros por segundo. El aire se extiende sólo a una corta distancia sobre la superficie de la tierra, pero la luz llega a nosotros no sólo desde el sol, sino también de las estrellas más remotas, a distancias casi inconcebibles.

Se ha medido la frecuencia y la longitud de onda en los diferentes colores del espectro y se ha encontrado que la luz roja corresponde a frecuencias comprendidas entre 440 billones y 470 billones de vibraciones por segundo; los otros colores tienen frecuencias comprendidas entre esta última y 800 billones por segundo en el extremo violeta. El espectro, por consiguiente, representa todas las frecuencias posibles entre 440 billones (o quizás 400 billones) y 800 billones por segundo. En este sentido, por consiguiente, se puede decir, con toda verdad, que no existen en el espectro siete colores, sino un número infinito.

Como, por lo que se refiere al ojo, todos los colores parecen reducirse a tres (rojo, verde y violeta), se cree que hay tres clases de conos en la retina (recuérdese que los conos son los receptores del color). La visión de los colores se explica suponiendo que unos conos son sensibles a la luz roja, otros a la

amarilla y otros a la violeta; todos los colores restantes resultarían de la excitación de dos o de las tres clases al mismo tiempo. El azul es una sensación que resulta de la excitación simultánea de los receptores del verde y del violeta, aun cuando una mezcla de pinturas verde y violeta no dé efecto azul.

Hay que advertir que todos los conos parecen exactamente iguales vistos al microscopio; no hay diferencia apreciable por la que se distingan los sensibles al rojo, al verde o al violeta. Se cree que hay tres clases sólo porque esta suposición explica los hechos de la visión de los colores. Existe otra teoría de visión de los colores que supone que no hay más que dos clases de receptores de color; se supone que una es sensible para el par de colores opuestos rojo y verde, mientras que la otra lo es para el amarillo y el azul. En este caso tendría que haber cuatro colores primarios en vez de tres. Cualquiera que sea la teoría aceptada, subsiste la idea de que la capacidad para distinguir los colores depende de la presencia de receptores especiales de color en la retina.

Ceguera para los colores.

Si un grupo de receptores de color faltase, no habría, naturalmente, posibilidad de ver este color; ello ocurre en un tanto por ciento de personas, con más frecuencia en los hombres que en las mujeres; este defecto es hereditario. El caso más común de la ceguera para los colores es la ceguera para el rojo. La persona que la padece cuando mira un objeto rojo sólo tiene conocimiento de la intensidad de la iluminación, pero no del color; por tanto, un objeto rojo le parecerá probablemente gris.

En estos días de rápidos viajes en automóvil, de aglomeración en el tráfico y de luces de colores como señales en las carreteras, la ceguera para los colores, que antes era sólo un inconveniente, se ha convertido en un peligro. No existe tratamiento ni remedio, pero todo el que tiene este defecto debiera conocer

la cuestión y darse cuenta del peligro que existe para él y para los demás.

Visión derecha.

En los experimentos con lentes la imagen está siempre invertida (cabeza abajo); la misma inversión ocurre en el ojo. A veces se hace la pregunta de por qué no vemos los objetos invertidos. Si recordamos que es en las células del cerebro donde las impresiones visuales llegan a ser conscientes, se comprenderá que no tiene importancia la posición de la imagen en el ojo. Además nuestras ideas sobre la posición y situación de un objeto que vemos, se deben en gran parte a la experiencia. Un niño pequeño que intenta por vez primera agarrar un objeto que le atrae, está evidentemente muy inseguro en lo que se refiere a su situación; pero, después de repetidas experiencias, los ojos y las manos, así como el cerebro, se han ejercitado y desaparece la incertidumbre.

Visión binocular.

Puede surgir la cuestión de cómo la visión de dos imágenes separadas en los dos ojos se combina en una sola imagen mental. Hay que distinguir diferentes clases de mecanismos que contribuyen a ello.

Los globos de los ojos están provistos de seis músculos externos que sirven para dirigir la córnea a los puntos en que se fija la atención. Estos músculos están regidos por un mecanismo nervioso reflejo por el cual los dos ojos se dirigen siempre al mismo punto y las imágenes se forman sobre partes correspondientes en las retinas. Si el punto de interés está distante, los ejes de visión de los dos ojos son sensiblemente paralelos; pero si el objeto está más cerca, es evidente que los ejes de visión de los dos ojos tienen que convergir de un modo sensible.

La convergencia variable de los dos ojos se demuestra experimentalmente. Hágase mirar a una persona un objeto mantenido a la distancia a que alcance el brazo; luego continuando la persona con la atención fija en este objeto, acérquesele el objeto a la cara: se verá que los ojos siguen al objeto aumentando la convergencia.

En algunos casos, los músculos pueden no estar debidamente equilibrados y entonces se hace difícil la convergencia debida; así, si el músculo del lado del globo de ojo próximo a la nariz fuese demasiado débil en comparación con el músculo opuesto resultaría muy fatigado manteniendo el globo del ojo en la posición de convergencia hacia objetos cercanos; si fuese demasiado potente y el músculo externo demasiado débil, éste se fatigaría manteniendo la posición adecuada para la visión lejana. Dificultades semejantes pueden existir también en la coordinación vertical. En todos estos casos, uno o varios de los músculos en cuestión está sobrecargado de trabajo, resultando de ello su fatiga. Esta condición se denomina estrabismo y al que la padece se le llama comúnmente bizco, pero el estrabismo puede ser producido por otras muchas circunstancias de que vamos a hablar.

En algunas personas, por la diversa longitud, posición o fuerza de los músculos de un par correspondientes, es imposible que los dos ojos se dirijan debidamente a un objeto al mismo tiempo. El caso más común es el de los ojos cruzados en que éstos convergen tanto que no pueden ser llevados a la relación debida; en otros casos un ojo puede estar dirigido hacia dentro, hacia fuera o hacia arriba. Evidentemente en todos estos casos si los dos ojos funcionan se verán dos imágenes; pero, en realidad, el cerebro, ordinariamente, dirige su atención sólo a la imagen de un ojo: el que no se *emplea* se inutiliza gradualmente hasta que la vista se pierde total o casi totalmente por lo que a este ojo se refiere. Por consiguiente, un bizco es prácticamente un tuerto, y

como la cooperación de los dos ojos, como se verá más adelante, es necesaria para juzgar bien la distancia, tamaño y forma de los objetos, es importante conservar ambos.

El estrabismo debido a la falta de coordinación de los ojos se puede ordinariamente corregir por el uso de gafas adecuadas; a veces el ejercicio persistente de los músculos en cuestión corrige esta dificultad. El estrabismo permanente se puede corregir por una operación quirúrgica en los músculos, pero esta corrección ha de hacerse en la infancia, antes de que se haya perdido la vista de un ojo. En todo caso el defecto ha de ser atendido por competente especialista.

Otra disposición que ayuda a obtener la visión unificada en los dos ojos es la disposición de las fibras de los nervios ópticos. Estos nervios en su camino entre los ojos y el cerebro se unen en un punto, y en este punto de unión hay un entrecruzamiento de algunas fibras que vienen del ojo derecho y pasan al lado izquierdo del cerebro, con otras fibras procedentes del ojo izquierdo que van al lado derecho del cerebro. La disposición es tal, que las fibras nerviosas de la mitad derecha (aproximadamente) de cada ojo, van al centro óptico del lado derecho del cerebro, mientras que las fibras de la mitad izquierda de cada ojo van al lado izquierdo del cerebro. De aquí se sigue que el lado derecho del cerebro recibe estímulos sólo del lado derecho que las retinas, y el lado izquierdo del cerebro, sólo del lado izquierdo. Cada lado del cerebro recibe dos imágenes parciales, pero son idénticas y, por consiguiente, se evita la confusión. Si se altera la posición de uno de los globos de los ojos —como cuando se le oprime con el dedo— las dos imágenes dejan de corresponder en su posición en la retina, y el objeto se ve doble. Este es siempre el caso de los bizcos, - a menos que el cerebro se haya ejercitado en prescindir de una de las dos imágenes.

Apreciación de la distancia, tamaño y forma.

La capacidad que tenemos de apreciar las distancias y tamaños de los objetos y de comprender su forma, se debe indudablemente, en primer lugar, a la experiencia, es decir, ha sido aprendida; nunca estamos seguros sobre estos puntos y las ilusiones son frecuentes; el cinematógrafo abunda en ejemplos de estas ilusiones.

Indudablemente, dos factores que contribuyen en cada individuo a la apreciación de la distancia y tamaño son el esfuerzo muscular de convergencia y el esfuerzo semejante de enfocar. La apreciación de ambos factores resulta muy incierta si se emplea solamente un ojo, y esto indica que la convergencia es importantísima para apreciar la distancia o el tamaño.

Otras causas de fatiga ocular.

Antes se ha hecho mención de varias causas de fatiga e incomodidad. Existen muchas otras, de las cuales aquí sólo es posible citar algunas que son comúnmente factores de la velocidad de los progresos de los alumnos en la escuela.

Con luz débil las fibras musculares del iris se relajan y la pupila se abre mucho, de modo que el iris casi desaparece; de este modo, entra por la pupila a la retina la mayor cantidad posible de luz. A la luz viva la pupila se reduce a una pequeña abertura que hace disminuir mucho la cantidad de luz admitida. Todos hemos experimentado la molestia de pasar con las pupilas muy abiertas desde una habitación oscura a la luz viva: tan pronto como la pupila ha podido contraerse cesa la molestia. Cuando se permanece al aire libre, a la luz viva del sol, se requiere un continuo esfuerzo de los músculos para que la pupila pueda continuar contraída. Este esfuerzo resulta fatigante para algunas personas que buscan alivio de su esfuerzo en el uso de lentes de color.

El leer o estudiar de cara a una ventana con mucha luz o a una lámpara sin pantalla es evidentemente peligroso: la página que uno está leyendo ha de estar bien iluminada y todos los otros objetos situados en el campo de visión tienen que resultar con menos luz que ésta; nunca debe quedar en el campo de visión el filamento sin velar de una lámpara eléctrica encendida; las lámparas modernas con vidrio blanco son menos censurables, pero deben ser debidamente veladas con pantallas o puestas fuera de la línea de visión.

Es demasiado frecuente la iluminación mal dispuesta de casas, fábricas y oficinas; muchas veces hay un exceso de luz, pero mal utilizado. Las luces sin pantalla, tan comunes en talleres, desperdician la mayor parte de la luz donde no hace falta, deslumbran a trabajadores y no iluminan la obra ni las máquinas.

En el ojo normal, cuando los músculos de acomodación están relajados, los objetos distantes están enfocados en la retina; pero el globo del ojo, el cristalino y la córnea pueden tener tal forma o tamaño que las imágenes no queden enfocadas sobre la retina. Existen tres defectos ópticos de esta clase llamados miopía, hipermetropía y astigmatismo.

Miopía.

A los que tienen este defecto se les llama vulgarmente *cortos de vista*. El globo del ojo es demasiado largo o el cristalino demasiado convexo y la imagen de los objetos distantes se forma delante de la retina cuando están relajados los músculos de enfocar (fig. 14 *b, f*); los objetos distantes quedan por consiguiente desenfocados y borrosos, y como la contracción de los músculos hace que se enfoquen objetos más próximos, no hay adaptación posible para objetos distantes y éstos nunca se pueden ver claramente. En los casos en que la miopía es poco acentuada la dificultad se reduce a la que nace de la inseguridad en conocer a los amigos por la calle, pero en los casos graves todos los obje-

tos situados a partir de una pequeña distancia quedan desenfocados.

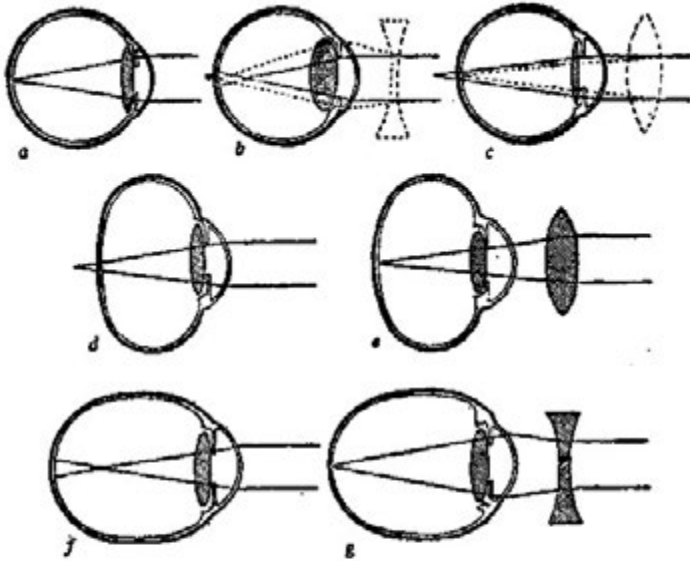


Fig. 14.—Ojos y lentes.

a, ojo normal en el que la imagen de los objetos distantes se forma sobre la retina; *b*, cristalino demasiado convexo, la imagen se forma delante de la retina a menos que el ojo se corrija mediante lente cóncava; *c*, cristalino poco convexo, la imagen se forma detrás de la retina a menos que el ojo se corrija mediante lente convexa; *d*, globo del ojo demasiado corto; *e*, el mismo corregido por lente convexa; *f*, globo del ojo demasiado largo; *g*, el mismo corregido por lente cóncava. Los esquemas *b*, *f* y *g*, se refieren a la miopía; los esquemas *c*, *d* y *e*, a la hipermetropía. Los defectos aparecen muy exagerados. (De Gruenberg.)

Evidentemente un niño lo bastante miope para no poder leer lo que se ha escrito en el encerado hará pocos progresos en la escuela; puede parecer perezoso y torpe. Los casos graves, ordinariamente, se reconocen pronto en las escuelas, pero las dificultades moderadas pueden pasar inadvertidas durante mucho tiempo si el maestro no es observador. La dificultad para leer en el en-

cerado se ha de considerar siempre como motivo de sospecha de miopía; esto se debe comprobar diciéndole al niño que lea el tipo de letra adoptado con este objeto a la distancia debida.

Para obviar este defecto es a veces suficiente colocar el niño en la primera fila; pero, naturalmente, la corrección verdadera sólo se realiza por la prescripción de lentes adecuados (fig. 14 b, g) hecha por un especialista competente.

Hipermetropía.

Cuando el globo del ojo es demasiado corto o el cristalino poco convexo, y los músculos están relajados, los rayos de luz hieren la retina antes de ser enfocados (fig. 14 c, d), la imagen es borrosa. Por contracción de los músculos enfocadores la imagen puede ser llevada a la retina. Para objetos distantes requiere esto, sin embargo, un cierto esfuerzo, mientras que en el ojo normal no se requiere esfuerzo muscular alguno para la visión distante. Para los objetos próximos se requiere un esfuerzo mayor en el ojo hipermetrope que en el normal.

Como el individuo hipermetrope es capaz de enfocar objetos situados a cualquier distancia, el error no se descubre fácilmente; no se manifestará haciéndole leer el tipo de letra adoptado para otros reconocimientos de la vista o por otras pruebas que es fácil practicar en la clase; este defecto comúnmente pasa inadvertido en los reconocimientos físicos rutinarios. No se trata de buscar en este caso la visión confusa, sino indicaciones de esfuerzo y de fatiga. La frente con arrugas, el fruncir el entrecejo, las expresiones de cansancio en la cara y la pronta fatiga, son algunos de los síntomas de este defecto; si el cansancio se debe a ésta o a otra causa, es cuestión que ha de resolver el especialista, pero al maestro toca suscitar la cuestión y proponer el estudio por un especialista.

Astigmatismo.

Este defecto se debe a la curvatura irregular de la córnea u otras partes del aparato óptico. A causa de esta irregularidad las diferentes partes de la imagen no están en el foco al mismo tiempo; mirando un papel en el que estén dibujados diferentes radios de una circunferencia, si los verticales están enfocados, los horizontales aparecerán confusos o viceversa. El esfuerzo del ojo para realizar el imposible de enfocar todas las partes de la imagen obliga a gran fatiga; todos los objetos que tienen muchas líneas resultan especialmente molestos. Las personas con astigmatismo en uno o en los dos ojos propenden a que les incomoden mucho las figuras geométricas, los dibujos de líneas, los dibujos de las telas con líneas cruzadas y otros semejantes en el linoleum. Las consecuencias del astigmatismo son, con frecuencia, más importantes que las de ninguno de los otros tipos de defecto. El único remedio conocido son lentes que lo compensen.

Responsabilidad del maestro.

Los estudios de las relaciones de la vista con laboriosidad y el adelanto en la escuela, indican que más de la mitad de las personas tienen defectos ópticos de alguna clase; si unos son adquiridos —muchas veces durante el período escolar—, otros en gran número son hereditarios. Se ha de esperar, por consiguiente, que en cada clase y grado haya muchos casos. Existe una pérdida enorme —aún no evaluada— de eficacia en el trabajo humano que resulta del retraso e inhibición debidos a estas causas. La persona que se encuentra en mejor situación para descubrir los casos es el maestro; en muchas escuelas la mayor parte de estos defectos pasarán inadvertidos a menos que el maestro los descubra. Es, por consiguiente, importante que todo maestro haga el estudio de los defectos de la vista y del oído con más detenimiento que en este libro, pero este estudio más extenso pertenece en rigor al campo de la higiene escolar.

PARTE TERCERA

HERENCIA Y EVOLUCIÓN DE LOS ORGANISMOS

CAPÍTULO XI

LA BASE DE LA HERENCIA

Reproducción y herencia.

Es de conocimiento vulgar el hecho de que los individuos se parecen a sus padres. El hecho se nota con más frecuencia en los animales domésticos y en el hombre, pero sólo porque tenemos una relación mayor con ellos que con los animales salvajes y las plantas. Las prácticas agrícolas están fundadas en la idea de que la descendencia se asemeja a los padres y por consiguiente el labrador selecciona con gran cuidado los animales reproductores y la simiente de las plantas. La semejanza entre ascendientes y descendientes se llama *herencia*.

Aunque los descendientes regularmente se asemejan a los padres es también notable que jamás son exactamente iguales a éstos. Así, un niño puede tener el color de los ojos y cabellos y algunas facciones como los de uno u otro de sus progenitores, pero cada uno de estos caracteres puede decirse que nunca es exactamente igual al carácter correspondiente del progenitor; hermanos y hermanas pueden parecerse mucho entre sí, pero ni aun los gemelos son exactamente iguales. Los animales y plantas silvestres de una especie dada pueden parecer iguales a primera vista, pero un examen algo más detenido muestra que no son idénticos. Esta tendencia de animales y plantas a mostrar

diferencias se llama *variación*.

La variación.

La cuestión de la variación es precisamente lo que da interés al estudio de la herencia. Evidentemente si no hubiera variación en el ganado vacuno, cerdos o plantas de maíz, etcétera—es decir, si todos los miembros de la especie fuesen exactamente iguales—, no podría haber problemas de herencia: se sabría de antemano que cada individuo de una nueva generación habría de ser exactamente como sus padres y, por consiguiente, como cualquier otro miembro de la especie.

Como los individuos de una especie no son exactamente iguales, el agricultor está interesado en tener conocimientos sobre la variación, porque espera seleccionar y perpetuar las mejores variedades y castas; el sociólogo ve en las variaciones entre los hombres las probabilidades de mejoramiento del género humano; y el maestro descubre que para comprender a los discípulos es necesario conocer no sólo las características medias de los niños, sino también las variaciones individuales de cada uno.

Un ejemplo de variación.

El hecho de la variación se puede demostrar por muchos estudios que se hacen fácilmente. Podemos determinar la altura de los alumnos de la clase o su peso o las longitudes de los dedos o cualquier otra medida; igualmente se puede medir la longitud de mazorcas de maíz tomadas al azar en un campo, o contar el número de granos por mazorca. Puede hacerse el estudio del número de granos por espiga en el trigo, del número de semi-flósculos en el girasol o en la manzanilla, del peso de cada guisante o de la razón entre la longitud y la anchura de las hojas de la encina.

En cada uno de los casos mencionados encontraríamos una

extensa variación entre los extremos; se vería también que hay pocos casos extremos y muchísimos casos hacia la mitad entre estos extremos. Pongamos como ejemplo un estudio de las estaturas de un grupo numeroso de alumnos de biología. El cuadro siguiente da la distribución de estaturas entre las 251 muchachas de la misma clase. Las estaturas están dadas en pulgadas, y los números indican cuantas personas había en cada grupo de estatura:

Pulgadas	Menos de 58	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	Más de 67
Personas	2	3	6	18	30	43	47	40	31	22	7	2

El examen del cuadro nos muestra inmediatamente diferentes hechos referentes a la distribución de la estatura en el grupo particular de personas estudiado. En primer lugar, es evidente que existe una variación en estatura que se extiende desde menos de 58 pulgadas a más de 67. Realmente en este grupo los extremos fueron 56 y 70 pulgadas, dando así una variación de 14 pulgadas. Es igualmente claro que los individuos del grupo no están distribuidos por igual entre las diferentes clases de estatura; sino que, por el contrario, hay muchísimos individuos de la estatura media y poquísimos que sean extremadamente altos o extremadamente bajos. El grupo más numeroso es el de 63 pulgadas y está muy próximo al promedio, pues éste se encuentra entre 62 y 63 pulgadas. A derecha e izquierda de este punto central, el número de individuos de los grupos decrece regular y simétricamente.

Algunos de los hechos se hacen aún más notables si los disponemos en un número menor de grupos y los representamos gráficamente (fig.15).

El predominio del grupo central y la simetría de la distribu-

ción son sumamente visibles.

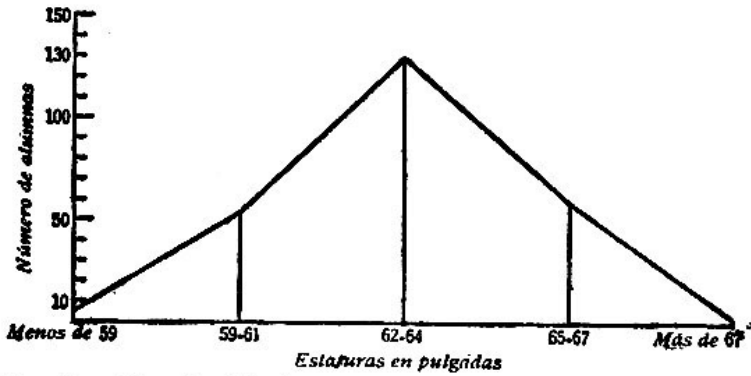


Fig. 15.—Distribución de la estatura en un grupo de alumnas.

La simetría del gráfico se corresponde con la distribución de alumnas

Pulgadas	Menos de 59	59 a 61	62 a 64	65 a 67	Más de 67
Personas	5	54	130	60	2

Igualmente fácil sería estudiar otro carácter medible, como el peso, por ejemplo, y se obtendrían resultados semejantes.

La ley de variación.

Se ha prestado mucha atención al estudio de la variación en los animales y en las plantas; se han hecho muchos trabajos cuidadosos, y, con poquísimas excepciones, los resultados han sido semejantes a los hallados en el estudio de las estaturas de los alumnos, y sus gráficas o curvas de variación tienen la misma forma general, pues son simétricas y lisas.

Una curva de la misma clase es la que se obtiene si uno in-

tenta expresar gráficamente la probabilidad de error. Si uno, por ejemplo, tira una moneda a un agujero en el suelo, no es probable que la moneda caiga siempre en el agujero; si se prueba mil veces se lleva cuenta de la distancia a que ha caído la moneda, a derecha o izquierda del agujero en cada intento, se podrá hacer un cuadro de distribución y trazar la curva correspondiente. Esta curva se asemejaría a la curva de variación.

Variación de la aptitud mental.

La variación en los caracteres mentales ¿sigue la misma ley que en los físicos? Sabemos tan poco sobre las cuestiones mentales que es difícil entresacar y medir caracteres mentales particulares. Es imposible hacerlo con la certeza y exactitud que utilizamos al medir objetos materiales pero se han hecho progresos considerables en las medidas mentales. Todos los resultados obtenidos parecen indicar que la ley ordinaria de variación se aplica igualmente a las aptitudes mentales; es decir, se puede esperar que en todo grupo de personas, como en una escuela, habrá unas pocas que sean muy torpes unas pocas que sean brillantísimas, y un gran número que son medianas. Esto corresponde a la observación general de que entre los ciudadanos de un país hay pocos que sean deficientes mentales, pocos que sean genios, y un gran número de gente de buena, pero no de superior capacidad.

Las pruebas o *tests* mentales que han entrado en uso modernamente como los de Binet, el "army alpha" y muchos otros son intentos para medir las características mentales de un modo más exacto que antes. Están dispuestos de tal manera que los prejuicios del examinador no entran en la evaluación. Estos *tests* han resultado utilísimos para clasificar gradualmente los reclutas durante la guerra y han sido igualmente útiles en otras ocasiones en que tienen que ser clasificadas con arreglo a su capacidad mental gran número de personas o en que deseamos descubrir la

capacidad general del individuo para aprender en libros. Los resultados del uso extenso de estos *tests* confirman la opinión de que los caracteres mentales están distribuidos de acuerdo con la ley de variación.

Variación y grados de la escuela.

El intento más extenso de medición de caracteres mentales está representado por los grados en que se dividen las escuelas. Estos grados no son fundamentalmente medidas de capacidad mental, sino más bien de éxito. Puede ocurrir que alumnos de gran capacidad carezcan de interés o sufran algún defecto físico que les impida llegar a obtener gran éxito y que por esto, sus grados escolares no correspondan a su capacidad. Sin embargo, podemos admitir con seguridad que, a la larga, el éxito obtenido en la escuela debe estar en relación bastante estrecha con la capacidad real: deben ser paralelos cuando se consideran grupos grandes de alumnos.

Si es cierto que por término medio el triunfo en la escuela depende de la capacidad mental y es paralelo a ella, se sigue que las notas en la escuela tienen que quedar distribuidas de acuerdo con la curva de variación; es decir, que tiene que haber pocas notas *A*, pocas notas *E*, más notas *C* que de ninguna otra clase, y un número intermedio de notas *B* y *D*. Discípulos y maestros tienen que llegar a comprender que *C* representa un éxito educativo muy satisfactorio para obtenido por el mayor número de alumnos, pero que *A* representa una excelencia excepcional que es alcanzada sólo por poquísimos.

Una advertencia tenemos que añadir. La validez de todas las conclusiones de la naturaleza de las que ahora se discuten dependen de que sea muy grande el número de casos. Hay que recordar que en la distribución de las alturas de las alumnas entraron más de 200 individuos y que, aun con este gran número, la gráfica no es completamente simétrica. Si sólo se hubiesen

tomado al azar 5 ó 6 alumnas de la clase es muy posible que todas hubiesen sido de estatura superior al promedio o todas excepcionalmente bajas; es muy improbable que hubiesen estado distribuidas proporcionalmente por todos los grupos. De un modo análogo una clase pequeña puede comprender una gran proporción de alumnos brillantes o una gran proporción de alumnos torpes; en ambos casos sería injusto forzar el sistema de calificación para ponerlo en armonía con la curva de variación, pero cuando se reúnen algunos centenares de notas dadas por un mismo maestro, se puede esperar que la distribución corresponderá aproximada mente con la curva de variación, y si esta correspondencia no aparece es ocasión para que el maestro investigue por qué existe esta discrepancia.

La mayor parte de los ensayos que se han hecho para obtener una «estandarización» de las calificaciones en las escuelas están basados en la noción de variación normal aplicada a las notas escolares; este movimiento descansa, por consiguiente, sobre una segura base biológica. Las mismas ideas se aplican a los negocios e industrias cuando es necesario estudiar la distribución de la capacidad y del éxito.

Dos clases de variación.

Muchas características en las que un individuo difiere de otro de la misma especie, se deben a las circunstancias en que los organismos han vivido. Así, es sabido que los animales domésticos jóvenes que se alimentan inadecuadamente durante el período de crecimiento, no crecen lo debido y nunca llegan a ser tan grandes como los bien alimentados. El tamaño pequeño en este caso se debe, evidentemente, a un factor del medio ambiente: el alimento deficiente. De un modo análogo, a un perro se le pueden enseñar muchas costumbres que los perros ordinariamente no tienen y lo mismo se puede decir de varios otros animales. Estas variaciones que son adquiridas durante la vida del organismo

(animal o vegetal) y se deben afectos del medio sobre él, no son heredadas por sus descendientes.

Otras variaciones no son adquiridas durante la vida, sino congénitas; ejemplos familiares los tenemos en el color y las señales de las capas de los animales y el color del pelo y los ojos en el hombre. Estos caracteres son partes permanentes del individuo, pueden modificarse algo por la influencia del medio, pero no se destruyen por completo; se fundan en una base hereditaria y pasarán a los descendientes según las leyes de herencia que se expondrán más adelante.

Utilización de las variaciones.

La creencia de que son heredables las variaciones del tipo últimamente mencionado está firmemente establecida en las ideas y en la práctica de todos los que se ocupan de plantas y animales. El que va a un gran concurso de ganado está seguro de encontrar en él muchos cerdos magníficos, algunos puestos en venta a precios que parecen fabulosos; ¿por qué hay ganaderos juiciosos y prácticos que pagan miles de dólares por un solo cerdo? En primer lugar, porque éste es un animal magnífico como todo el mundo puede ver; en segundo lugar, porque su genealogía muestra que sus antepasados, durante muchas generaciones, han sido como él (sus caracteres se deben a la herencia y no a un exceso de comida o a otras influencias del medio), y en tercer lugar, porque como sus caracteres son hereditarios, es casi seguro que pasarán a sus descendientes.

Tomemos otro ejemplo. La piel de los zorros tiene un valor considerable; pero ocurre que hay mucha variación en el color de las pieles de los zorros salvajes. Ciertas coloraciones, llamadas plateada, azul y negra, son las más deseadas y, por consiguiente, alcanzan los precios máximos. Se han capturado zorros de estos colores y se han utilizado para fundar razas semidomésticas, confiando en la herencia de las variaciones de color.

El labrador entendido no toma al azar la simiente de su campo; por el contrario, emplea gran cuidado en seleccionar simiente de sus mejores plantas, esperando que así se mantendrá o mejorará el carácter de sus cosechas. Nuestras plantas y animales domésticos están muy mejorados con relación a los correspondientes salvajes. Una gran parte de este perfeccionamiento se ha conseguido seleccionando los mejores para reproductores. Esta selección se ha practicado indudablemente desde los tiempos prehistóricos y algunas clases de plantas y animales se han modificado tanto que ya no se puede reconocer la forma silvestre que les ha dado su origen.

Selección natural.

Es indudable que las fuerzas naturales, como el clima, las enfermedades, el alimento y los enemigos, ejercen una influencia selectiva sobre las plantas y animales salvajes. Donde abundan conejos y zorros, los zorros atraparán los conejos menos veloces y menos despiertos y sólo quedarán para criar los más veloces y vivos; cuando el tiempo es desfavorable mueren muchas plantas y animales, y sólo los más adecuados son capaces de vivir; cuando les atacan las enfermedades, los más resistentes son los que se curan. Se cree que en muchos casos las diferencias entre especies distintas, pero próximas, pueden haber nacido como resultado de esta acción selectora natural.

El problema de la transmisión de caracteres.

Aun cuando los hechos que se acaban de citar y los que se advierten en la observación habitual, muestran que los caracteres de los padres reaparecen en la descendencia, no es exacto decir que los caracteres se heredan. Si consideramos algo más de cerca la cuestión resulta bien claro que la piel verde de una rana no se hereda en el sentido de pasar de una generación a otra, pues

en el estado de renacuajo la piel no es verde y en el estado de huevo no hay piel; es decir, el color verde no pasa él mismo de una generación a otra, pues no está presente, por ejemplo, en el huevo; sin embargo, en el huevo hay algo presente que fué recibido de los padres y que hace que el cuerpo de la rana desarrollada forme un pigmento verde. De igual modo un niño no recibe de sus padres los ojos azules, el pelo castaño o una agradable disposición, sino que puede recibir de ellos la base sobre que se desarrollan estos caracteres. Más adelante veremos lo que nos es dado conocer acerca de la naturaleza de esta base de caracteres, que pasa de una generación a otra.

Todas las células de un organismo provienen de una sola célula originaria (el huevo fecundado) por repetidas divisiones celulares, y como este huevo fecundado es la única conexión con la generación precedente, la base de todos los caracteres heredados ha de estar presente en el huevo fecundado y ha de pasar de algún modo a las otras células en el proceso de división celular. Nuestro primer problema es, por consiguientes cómo se comporta una célula en la división y cuál es el mecanismo por el que la base de los caracteres pasa de una célula en división a las células hijas.

La célula y su núcleo.

Sabido es que una célula típica (fig. 16) se compone de citoplasma y núcleo y que ordinariamente tiene una membrana celular que rodea la totalidad de la célula. El núcleo tiene una estructura muy complicada: está limitado por una membrana nuclear; cuando el núcleo es teñido por colorantes adecuados se ve que hay en él numerosos gránulos que se tiñen más intensamente que las sustancias restantes y que estos gránulos están dispuestos formando una red irregular; este material se llama *cromatina*.

Si el tejido que se examina es un tejido animal se encontrará un gránulo pequeñísimo en el citoplasma, junto al núcleo; es lo

que se llama el *centrosoma*. Aun cuando parece tomar parte importante en la división de las células animales (como más adelante veremos), el centrosoma falta en las células de las plantas.

Como en este momento nos interesamos en la división celular en su relación con la herencia lo que se dirá en las páginas siguientes se aplica particu-

larmente a la primera división de un huevo animal. La marcha general de la división es igual en todas las células del cuerpo de un animal y en todas las células vegetales (excepto la falta de centrosoma en estas últimas). En cuanto a los detalles hay tanta variedad cuantas clases de células.

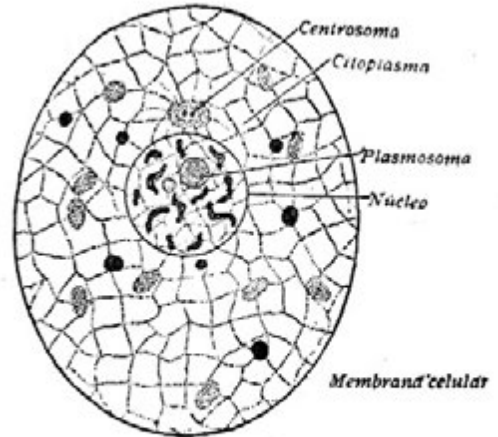


Fig. 16.—Esquema de una célula típica.
En el núcleo se ven los cromosomas.

División del núcleo: mitosis.

Cuando la célula huevo va a dividirse, la primera indicación es que el centrosoma se divide en dos partes, cada una de las cuales está rodeada de una especie de halo que parece consistir en fibras radiantes (*aster*) (fig. 17, A y B). Los dos centrosomas se separan hasta que llegan a lados opuestos del núcleo; entre tanto, la membrana nuclear ha desaparecido y los gránulos de cromatina arriba mencionados han quedado dispuestos en un filamento más o menos enredado; luego este filamento se rompe en un número determinado de partes separadas llamadas *cromosomas* (fig. 17, C); las fibras de los ásteres se prolongan especialmente en el espacio que existe entre los dos centrosomas, formando,

finalmente, una figura en forma de huso con los centrosomas en los polos; los cromosomas pasan a ocupar el ecuador de este huso (fig. 17, *D*); esto se puede tomar como señal del final de la primera fase de división nuclear.

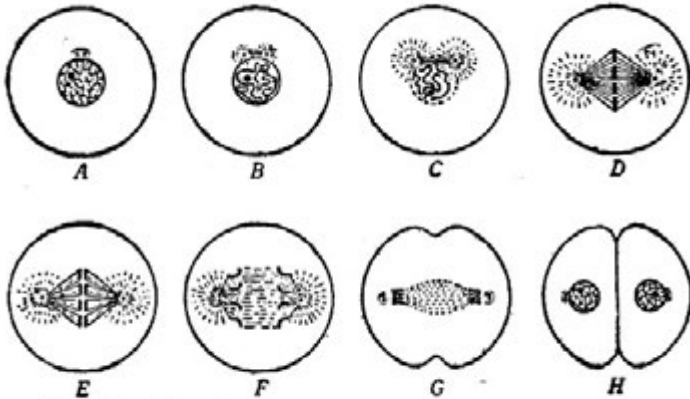


Fig. 17.—Estados de la división celular por mitosis.

La división de este proceso en fases distintas se hace sólo por conveniencia; el fenómeno no se detiene en ningún punto, sino que marcha de un modo continuo hasta su terminación.

Cuando los cromosomas están dispuestos en el ecuador del huso, cada cromosoma se ha hendido ya longitudinalmente en dos. El resultado es que no solamente el cromosoma se ha dividido en dos partes iguales, sino que cada gránulo de los que lo componen se ha dividido también en dos partes. Parece por consiguiente que las dos partes en que se divide el cromosoma se aproximan cuanto es posible a ser idénticas.

Cuando los cromosomas se han dividido del modo descrito, las mitades de cada cromosoma se dirigen a los extremos opuestos del huso (fig. 17, *E, F*) agrupándose cerca de los cen-

trosomas (fig. 17s *G*); de este modo hay dos grupos de cromosomas exactamente semejantes. Los cromosomas luego sufren una serie de cambios que son inversos de aquéllos por que pasó el núcleo en los primeros estados de división; es decir, los cromosomas se hacen más irregulares y forman una especie de ovillo enmarañado en el que las distintas unidades no se reconocen fácilmente. Después toman la forma de red de cromatina rodeada por la membrana nuclear (fig. 17, *H*); cada núcleo hijo está entonces en estado de reposo como el núcleo con que hemos empezado esta descripción:

Aun cuando existen algunas excepciones, la regla general es que los núcleos de las células se dividan del modo descrito. Este modo de división se llama *mitosis* y es el que se presentará en cada una de las divisiones celulares sucesivas en la vida del animal.

División del citoplasma.

Hacia el tiempo en que los dos grupos de cromosomas han llegado a los polos del huso, se puede observar que el citoplasma muestra señales de división. La indicación principal en una célula animal puede ser el que se forme una ligera constricción o surco hacia el ecuador de la célula como si la superficie del citoplasma hubiese sido empujada un poco hacia adentro. Este surco continúa haciéndose profundo y se forma un tabique celular completamente a través de la célula, separando así el citoplasma en dos masas. Con esto tenemos dos células completas, con su propio citoplasma y núcleo cada una.

Número de cromosomas.

En cada especie dada de animal o planta, el número de cromosomas es fijo. Las especies distintas pueden tener diferente número de cromosomas aun cuando sean especies muy

próximas; pero puede ocurrir que tengan el mismo número. En el hombre, el número de cromosomas es 46.

Los portadores de las cualidades hereditarias.

Hemos visto que los caracteres reaparecen de una generación en la siguiente. Como cada individuo, al principio no es más que una célula (el huevo fecundado), es evidente que esta célula tiene que contener la base de todas las cualidades que más tarde han de manifestarse en el animal. Pero ¿qué parte de la célula es la que las determina? Evidentemente tiene que ser el núcleo o el citoplasma, pues éstas son las partes esenciales de la célula.

El carácter complejo del núcleo y el método peculiarmente exacto de división de sus cromosomas nos sugiere que éstos pueden ser los portadores o determinadores de las posibilidades hereditarias. Al mismo tiempo se debe recordar que los hechos de mitosis por sí mismos *sugieren*, pero no *prueban*, que los cromosomas son los determinadores de la herencia. A este asunto se ha consagrado mucho estudio más y se han reunido muchas pruebas; muchas más de las que se pueden presentar aquí. Se admite que estas pruebas demuestran que los cromosomas son realmente los principales agentes de la herencia.

En cada célula-huevo que se desarrolla tiene que haber algo que determina cada carácter hereditario, y este algo es lo que se llama *gene*. Como los cromosomas parecen ser los agentes esenciales de la herencia, se sigue que los genes están en los cromosomas. Aun cuando es concebible que un cierto carácter, en una planta o animal, pueda ser determinado por un solo gene, no es probable que el hecho sea tan sencillo. En los casos que han sido cuidadosamente estudiados, cada carácter está representado por muchos genes que frecuentemente no están siquiera en el mismo cromosoma, y como hay tantos caracteres, cada cromosoma lleva un gran número de genes.

Significación de la mitosis.

El resultado más patente de la mitosis es la división cuantitativamente igual del material cromático entre los dos núcleos nuevos; es decir, que un núcleo hijo contiene exactamente la misma cantidad de cromatina que el otro. Probablemente, un resultado, aun más importante, es que la cromatina es cualitativamente igual en los dos núcleos hijos.

La equivalencia cuantitativa se podría obtener, o porque la mitad del número de cromosomas se encaminase a formar un núcleo hijo mientras que la otra mitad marchase a formar el otro, o por la división transversal de cada cromosoma, o por la simple estrangulación y división del núcleo en su estado de reposo.

Pero si es cierto, como se ha indicado antes, que los cromosomas tienen individualidad, llevando cada uno un cierto número de genes más o menos diferentes de los llevados por otros cromosomas de la célula, los núcleos hijos serían notoriamente diferentes si se formasen del primer modo indicado: todo cromosoma presente en un núcleo tendría que faltar en el otro; es decir, el número de cromosomas se reduciría a la mitad en cada división.

Por el segundo medio indicado, el número de cromosomas subsistiría, pero si los caracteres hereditarios están localizados en partes determinadas de los cromosomas, como parece cierto, cada nuevo núcleo recibiría sólo los caracteres que acaeciese estar localizados en el medio cromosoma recibido por aquel núcleo hijo.

El tercer método indicado es de división sin referencia a cromosomas, y, sin duda, no aseguraría una división cualitativamente igual de la cromatina. Por el contrario, cuando un cromosoma se divide hendiéndose a lo largo cada porción de él, se divide de manera que las dos mitades son idénticas en todo detalle reconocible. De esto se sigue que cada cromosoma en un núcleo hijo es el duplicado del otro, y los dos núcleos son tan iguales como imaginarse pueda.

De aquí se desprende que si la división ocurre por alguno de los tres métodos distintos del hendimiento longitudinal de los cromosomas, los resultados han de ser algo diferentes en lo que se refiere a la herencia. En capítulos siguientes estudiaremos un tipo de división mitótica en el que la mitad del número de cromosomas, sin dividirse éstos, emigra a cada polo del huso, y entonces estudiaremos algunas consecuencias de este modo de división.

Ulterior desarrollo de la célula huevo.

Hemos seguido el huevo en su primera división y señalado algo de la significación de la mitosis. Durante el crecimiento e historia ulterior de un animal o planta y el desarrollo de sus órganos, la división de las células se efectúa regularmente por mitosis. De aquí se sigue, por consiguiente, que todas las células del cuerpo contienen un grupo igual de cromosomas.

Los hechos antes referidos parecen indicar que las posibilidades hereditarias de un órgano están ya presentes en el huevo fecundado, que están relacionadas con los cromosomas, y que se manifiestan en el ulterior desarrollo. Toda variación presente en el huevo se tendría, por consiguiente, que perpetuar en el individuo. La mitosis explica cómo estas variaciones hereditarias pasan de célula en célula durante el desarrollo de un individuo, pero no explica, en absoluto, las diferencias entre los individuos. Como el carácter del individuo parece depender del huevo, el origen de estas diferencias se debe buscar estudiando el origen del huevo fecundado.

CAPÍTULO XII

HERENCIA Y VARIACIÓN

Diferencias y semejanzas.

Cuando los organismos se producen de un modo asexuals cada organismo toma origen de un solo progenitor; de casos de esta naturaleza es ejemplo la reproducción por esporas; la producción de plantas nuevas por tallos rastreros y esquejes puede también servir de ejemplo, pues un solo progenitor relaciona los nuevos individuos con sus antepasados. En todos estos casos la semejanza entre el progenitor y la descendencia es grandísima.

La reproducción sexual produce comúnmente mayor variación que la que ocurre en la asexual. Como se indicó anteriormente, un organismo se parece a sus dos padres en parte, pero a ninguno de ambos por completo; en muchos caracteres no se parece a ninguno de los dos. En una familia, por ejemplo, los padres tienen ambos el cabello negro; la mayor parte de los niños tienen también el cabello negro, pero algunos lo tienen rojo. En otra familia los padres son bajos y lo son también todos los hijos menos uno; éstos una muchacha, es más alta que cualquiera de sus padres, hermanos y hermanas. Los animales domésticos ofrecen el mismo fenómeno de caracteres que no parecen derivar de los padres.

Aun cuando hablamos de la semejanza de los hijos con los padres, la desemejanza es igualmente importante y más común. Cuando un niño se parece a uno de sus padres en un cierto carácter—el color de los ojos, por ejemplo—, difiere seguramente del otro progenitor en este punto, a menos que ambos progenitores tengan el mismo color de ojos. Si a estas diferencias entre ambos añadimos los pun-

tos en que el niño no se asemeja a ninguno de los dos, se ve que es muy fácil que las diferencias sean más frecuentes que las semejanzas.

Como, en la fecundación, el núcleo del espermatozoide y el del óvulo se unen para formar el núcleo del cigoto o huevo fecundado, parece a primera vista que el huevo fecundado y el animal o planta que de él se desarrolla habrían de contener *todos* los genes de *ambos* progenitores y presentar probablemente, por consiguiente, todos o la mayor parte de sus caracteres. La ausencia de algunos caracteres de los padres es lo difícil de explicar. (*)

Las diferencias entre los padres y los hijos pueden ser muy llamativas. Los conejillos de Indias negros, de abolengo mezclado, producen a veces un corto número de hijos blancos. Estos conejillos de Indias blancos, apareados con otros blancos, no producen jamás hijos con nada de color negro; sus padres tuvieron los genes a que es debido el color negro, pero ellos no los tienen. Parece, por consiguiente, que algunos genes pueden perderse por alguna parte entre una generación y la siguiente.

Los genes no son la única cosa que se pierde. Como el núcleo del espermatozoide y el del óvulo se unen, el número de cromosomas en el huevo fecundado es naturalmente la suma de los números de cromosomas de ambos gametos. Así, si hubiese cuatro cromosomas en el espermatozoide y cuatro en el óvulo, tendría que haber ocho en el huevo fecundado o cigoto. Debido al modo de división del núcleo en la segmenta-

* *Los avances de la Genética, de la Biología y de la ciencia en general desde que el libro se escribió hacen que algunas explicaciones de este y otros capítulos hayan quedado, en parte, superadas actualmente. Ello no resta interés e información válida a las páginas de esta obra, que, a juicio de quien esto escribe, continúan leyéndose provechosamente. Para mejor información, el lector puede acudir al abundante material que hay publicado sobre las materias aquí tratadas. Nota del maquetador.*

ción y en el ulterior desarrollo del organismo, ocho sería el número de cromosomas durante toda la vida; pero si en la nueva generación el número de cromosomas en espermatozoide y óvulo fuese ocho, después de la fecundación sería 16. De este modo en cada generación el número de cromosomas se duplicaría, pero es evidente que no ocurre esta duplicación en cada generación; pues, si ocurriese, los millares de generaciones que han pasado habrían dado a todas las especies vivientes muchos millones de cromosomas en cada núcleo. En realidad, el número no es grande y en algunos casos es sólo dos o cuatro. Parece, por consiguiente, que los cromosomas, lo mismo que los genes, se pierden en alguna parte.

Si relacionamos la pérdida evidente de los genes y la pérdida evidente de los cromosomas tenemos una indicación de que existe probablemente alguna fase de la historia del óvulo o del espermatozoide que al conocerla proyectará luz sobre esta cuestión. Esto sugiere la idea de que es posible que encontremos una explicación de las diferencias individuales, o variación, en el fenómeno de la fecundación y en la historia del óvulo y del espermatozoide antes de la fecundación.

Origen de los espermatozoides (espermatogénesis).

En el desarrollo del embrión, a partir del huevo, ciertos grupos de células se diferencian gradualmente como órganos diversos; entre éstos están los reproductores. Como estos órganos continúan creciendo, las células de que se componen se dividen por mitosis del modo ordinario y el número de cromosomas permanece constante. Sin embargo, en el estado de la historia de estas células, en que van a ser producidos los verdaderos espermatozoides (o los óvulos), ocurre una interesante e importante variación en la mitosis.

Admitamos, para concretar, que el número ordinario de cromosomas en el núcleo es ocho. Este es el número de cromoso-

mas del núcleo de la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*), que ha sido estudiada más detalladamente que ningún otro animal. Otro hecho interesante es que los cromosomas de *Drosophila* (fig. 18) difieren en tamaño y forma de tal modo que pueden ser reconocidos los miembros de cada uno de los cuatro pares. En un par puede haber diferencias entre sus dos miembros, mas para los fines de la presente exposición se les considerará iguales por pertenecer al mismo par.



Fig. 18. —
Cromosomas de *Drosophila*.

Hay cuatro pares; se puede reconocer por su forma los miembros de cada par.

En la división ordinaria de las células de *Drosophila*, los ocho cromosomas se ordenan en el plano ecuatorial del huso y cada uno se divide longitudinalmente del modo usual. Sin embargo, en la formación de los espermatozoides se ha observado que los cromosomas se agrupan por pares antes de pasar a ocupar el plano ecuatorial, quedando compuesto cada par por dos cromosomas del mismo tamaño y forma; así, en este estado, en vez de ocho cromosomas separados en la placa ecuatorial hay cuatro pares. En la división del núcleo no se produce división longitudinal de cada cromosoma, sino que un miembro de cada par va a un polo y el otro miembro al polo opuesto; de este modo, en cada núcleo hijo no hay ocho, sino *cuatro* cromosomas; es decir, el número de cromosomas se ha reducido a la mitad; este fenómeno se conoce con el nombre de *división reductora*.

Cada una de las dos células formadas como resultado de la división reductora se divide de nuevo (fig. 19); esta segunda división se realiza del modo ordinario, dividiéndose longitudinalmente los cuatro cromosomas; las cuatro nuevas células formadas por esta segunda división tienen así cada una cuatro cromosomas.

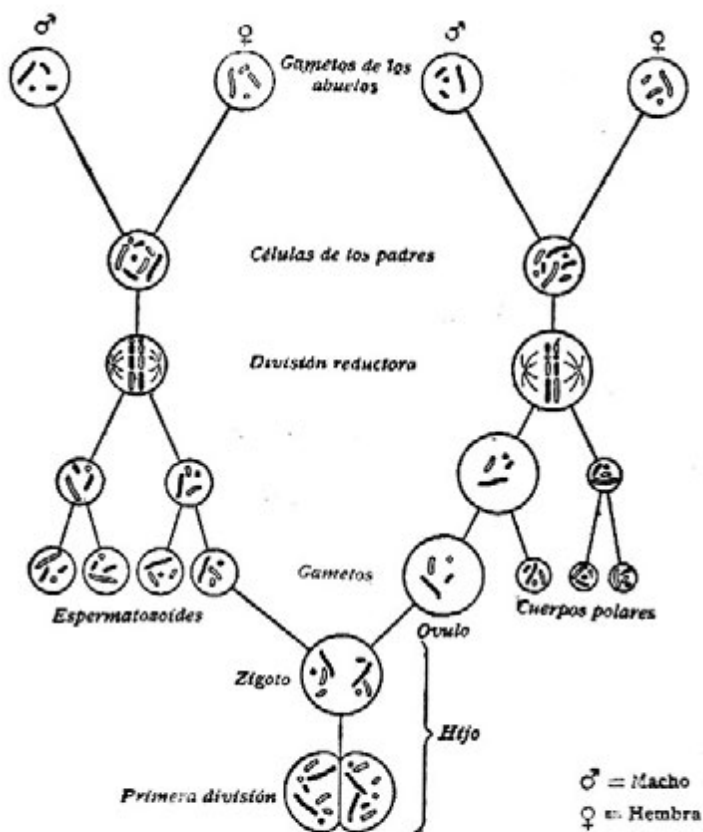


Fig. 19.—Esquema de la espermatogénesis y ovogénesis y de la marcha de los cromosomas en tres generaciones.

Estas cuatro células formadas del modo descrito se convierten en espermatozoides. Cada espermatozoide está formado por una cabeza y una larga y delgada cola; el espermatozoide es capaz de moverse rápidamente. La formación de cuatro espermatozoides maduros a partir de una sola célula, del modo que se acaba de describir, se llama *maturación*.

Maturación del óvulo.

La historia de la célula óvulo es muy parecida a la de la célula espermatozoide, pero difiere en algunos detalles. El óvulo es mucho mayor que el espermatozoide, en parte por la acumulación en él de material nutritivo. Este mayor tamaño es observable antes de la primera división de maduración.

El modo de conducirse el núcleo en la división reductora es como el del núcleo del espermatozoide; un cromosoma de cada par va a cada núcleo hijo (fig.19). La división del citoplasma es, sin embargo, muy diferente, pues prácticamente todo el material nutritivo acumulado queda en una célula hija, mientras que la otra es muy pequeña. Esta célula pequeña, que a veces se llama *cuerpo polar*, no tiene importancia y muere pronto aun cuando pueda efectuar la segunda división antes de perecer.

La célula grande se divide de nuevo (segunda división de maduración) y nuevamente es desigual la división del protoplasma formándose, de este modo, el segundo cuerpo polar. Así, si el primer cuerpo polar se divide también, resultan de las divisiones de maduración, una célula óvulo grande con una gran provisión de alimento y tres células pequeñas sin provisión de alimento. Tan sólo la célula grande es óvulo verdadero en el sentido de que es capaz de fecundación y desarrollo.

Se observará que la historia de los cromosomas es igual en la maduración del óvulo que en la maduración del espermatozoide, excepto que en aquellas tres células y sus núcleos no llegan a ser gametos funcionales.

Significación de la reducción.

La división reductora difiere de las otras divisiones celulares, no sólo en el hecho de que se reduce el número de cromosomas

somas, sino también en el hecho más importante de que los núcleos de las dos células hijas, en general, no son iguales. Como los cromosomas no se dividen, cada núcleo recibe cuatro cromosomas enteros; los genes, sean cuales fueren, llevados por un cromosoma dado, pueden estar presentes sólo en un núcleo hijo y, por consiguiente, sólo pueden pasar a dos de los cuatro espermatozoides; es decir —para expresar el mismo hecho de otro modo— por las divisiones de maduración se producirán dos clases de espermatozoides a partir de una sola célula originaria. En el caso del óvulo se producen igualmente a partir de una sola célula dos clases de gametos, pero sólo una funciona.

Debemos consignar que en algunos casos la división reductora es la segunda división de maduración en vez de la primera como aquí se ha descrito. El resultado final es el mismo.

Fecundación.

Cuando espermatozoide y óvulo se encuentran en la fecundación, los dos núcleos se unen. El núcleo de cigoto o huevo fecundado tiene así ocho cromosomas: cuatro de origen paterno y cuatro de origen materno. El animal que se desarrolla a partir de este huevo tiene, por consiguiente, que poseer *algunos* caracteres de cada uno de sus padres. Como ha recibido sólo una mitad de los cromosomas paternos y una mitad de los cromosomas maternos, no heredará *todos* los caracteres de ninguno de los dos progenitores. La historia de los cromosomas, por consiguiente, sirve para explicar cómo es que un animal se asemeja a sus padres, pero nunca es exactamente igual a ninguno de los dos.

Ciertas excepciones a lo que se acaba de decir, debemos señalar de pasada. Los experimentos de cría producen a veces una línea pura en la cual todos los individuos tienen

exactamente los mismos caracteres hereditarios. Cuando dos miembros de una familia de esta naturaleza crían entre sí, la descendencia tendrá necesariamente no sólo los caracteres de uno de sus padres, sino también los del otro, pues ambos son iguales. Como el que empieza a hacer estudios no es probable que tenga que ocuparse criando con líneas puras, se entiende en la exposición que sigue que tratamos siempre de las estirpes ordinarias mezcladas y que los padres no son idénticos en lo que se refiere a sus caracteres hereditarios.

En vista del hecho que los espermatozoides no son idénticos y que lo mismo ocurre en general en los óvulos, y de hecho de que es completamente casual el que un espermatozoide u otro fecunde un óvulo dado, adquirimos una idea de por qué los descendientes de una pareja no son iguales. Evidentemente existen muchas oportunidades para diferencias en la herencia. Toda la cuestión quedaría ahora más clara, siguiendo la historia de los cromosomas con más detalle, lo que sólo puede hacerse con el auxilio de esquemas; la figura anterior (fig. 19) debe ser estudiada cuidadosamente.

Historia de los cromosomas.

Se dijo anteriormente que el número ordinario de cromosomas, en el animal tomado como ejemplo, es ocho. Estos ocho cromosomas son en realidad dos grupos de cuatro, pues cada miembro de un grupo tiene su pareja en el otro. Ahora está ya claro que un juego de cuatro viene del padre y el otro de la madre (fig. 19, células de los padres) y que la generación siguiente tendrá un equipo de cromosomas constituido de un modo semejante. Es posible, naturalmente, seguir los cromosomas de la última generación (fig.19, cigoto) remontando hasta los cuatro abuelos; de este modo, basándonos en la historia de los cromosomas, hemos de esperar que algunos de los rasgos de los abuelos reaparezcan

en los nietos lo mismo que en la generación intermedia.

La variedad de gametos.

Se ha señalado anteriormente que de una sola célula se forman, en las divisiones de maduración, dos clases de gametos; pero si consideramos todas las células que forman gametos, las posibilidades de variación aumentan grandemente. En el caso representado (fig. 19) se supone en la división reductora una cierta distribución al azar de los cromosomas paternos y maternos. Acaece que en cada grupo de cuatro hay dos cromosomas paternos y dos maternos, pero no hay razón alguna para que en otra célula análoga no pueda haber uno, tres o cuatro paternos en un grupo y, por consiguiente, en una célula hija. Para dejar más clara la cuestión designemos los cuatro cromosomas paternos por las letras *A, B, C, D*, y los cromosomas maternos por *a, b, c, d*. La célula hija de la derecha en aquella división recibió los cromosomas *A, b, c, D*, mientras que la de la izquierda recibió *a, B, C, d*. Muchas otras combinaciones son igualmente posibles y, a la larga, ocurrirían con igual frecuencia; las combinaciones posibles son las siguientes:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>c</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>d</i>
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>B</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
<i>A</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>D</i>
<i>A</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>C</i>	<i>d</i>
<i>A</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>

De aquí resulta que con ocho cromosomas en dos juegos de a cuatro son posibles 16 combinaciones de los cromosomas y, por consiguiente, 16 tipos diferentes de herencia están representados en los espermatozoides. Lo mismo, naturalmente, podemos decir de los óvulos. Y como cada tipo de espermatozoide puede fecundar a uno cualquiera de los 16 tipos de óvulos, los tipos posibles de huevos fecundados derivados de los dos progenitores han de ser 16 veces 16, o sea 256. Si el número de cromosomas es mayor de cuatro, como ocurre en la mayor parte de los animales y plantas, el número de tipos de herencia en los huevos fecundados es correspondientemente mayor.

Estos hechos nos ayudan a explicar por qué hay tanta variación incluso entre la descendencia de los mismos padres, pues en el sencillísimo caso presentado habría sólo una probabilidad entre 256 de encontrar dos individuos iguales.

Como el hombre tiene 23 pares de cromosomas, el número de tipos posibles de combinaciones de cromosomas que pueden producirse por los dos padres es mayor de medio millón. Es, por consiguiente, claro que no es grande la probabilidad de que haya dos hijos en una familia que tengan dotaciones idénticas de cromosomas.

CAPÍTULO XIII

LEYES DE MENDEL

Leyes de herencia.

En el capítulo precedente hemos estudiado el mecanismo de la herencia, y es natural preguntar ahora cómo actúa ésta realmente en la vida de las plantas y animales y hasta qué punto los hechos experimentales corresponden con la teoría basada en el meca-

nismo. ¿Será posible deducir leyes que sirvan de guía a los criadores de animales y de plantas? ¿Existen principios que nos sirvan de guía para ordenar nuestra conducta y relaciones sociales?

Es de conocimiento vulgar y ha sido previamente discutido que los caracteres se heredan de alguna manera; pero no se conoce vulgarmente en qué extensión y de qué modo se heredan. En el caso, por ejemplo, en que los padres difieren en cierto carácter como cuando se cruzan conejos blancos con negros, ¿será la cría como el progenitor blanco o como el negro o presentarán un color intermedio tal como el gris? ¿Serán acaso unos hijos blancos, otros negros y otros grises? ¿Se parecerán por igual a los padres o los caracteres de uno de éstos predominarán sobre el otro? Preguntas de esta naturaleza pueden contestarse sobre una base experimental y en muchos casos la respuesta puede ser dada en términos matemáticos.

Examinemos un experimento de cruzamiento de individuos que tengan un solo carácter opuesto.

Experimento de cruzamiento.

Como primer ejemplo tomemos la flor de una planta común de jardín, el dondiego de noche: Hay una variedad de esta planta con flores rojas y otras con flores blancas. Si estas dos variedades se cruzan aplicando el polen de una en el pistilo de la otra y se recogen las semillas resultantes, es evidente que estas semillas son hijas de una planta de flores blancas y otro de flores rojas. ¿Cuál será el color de las flores de las plantas que se desarrollen de estas semillas? Se ha visto que las flores son invariablemente rosadas.

Al observar las flores rosadas puede uno sentirse tentado a creer que ha producido la tercera variedad de dondiego de noche. El experimentador prudente esperaría, sin embargo, a criar la nueva variedad durante varias temporadas antes de anunciarla. Si se recogiesen y sembrasen las semillas de las flores rosadas se

observaría un sorprendente resultado en las nuevas plantas: la mitad de ellas tendrían las flores rosadas, una cuarta parte tendrían las flores rojas y otra cuarta parte las tendrían blancas.

Si las semillas de las plantas de flores rojas se hiciesen reproducir en temporadas siguientes, no producirían más que plantas de flores rojas; las blancas producirían sólo blancas; las rosadas producirían de nuevo una mitad rosadas, una cuarta parte rojas y una cuarta parte blancas. Lo mismo ocurrirá en todas las generaciones sucesivas.

¿Se mezclan los genes de los dos progenitores para producir la descendencia de carácter intermedio? Aparentemente así es en la primera generación híbrida, pero en la generación siguiente los caracteres primitivos se separan de nuevo y, por tanto, difícilmente pueden haberse mezclado en realidad. Indudablemente, la verdadera explicación de los individuos rosados, no es que posean un nuevo carácter—rosa—, sino que poseen ambas cosas: rojo y blanco.

Construyamos un esquema que nos explique la fecundación y división reductora (fig. 20). Imaginémosnos que los genes de color residen en un par, determinado de cromosomas—en los pequeños, por ejemplo—, y comparemos el esquema de la figura 20 con el de la figura 19. Admitamos que los cromosomas pequeños negros llevan el gene de rojo, mientras que los blancos llevan el de blanco; se verá que las figuras 20 y 19 representan exactamente los mismos hechos.

No hay que suponer por los esquemas que si se produjesen sólo cuatro plantas de las semillas de plantas de flores rosadas, tuviesen que ser necesariamente una roja, dos rosadas y una blanca; lo que se quiere decir es que, a la larga, encontraríamos la relación 1 : 2 : 1. Se puede afirmar con confianza que un millar de plantas nacidas de estas semillas habría casi exactamente 250 rojas, 250 blancas y 500 rosadas.

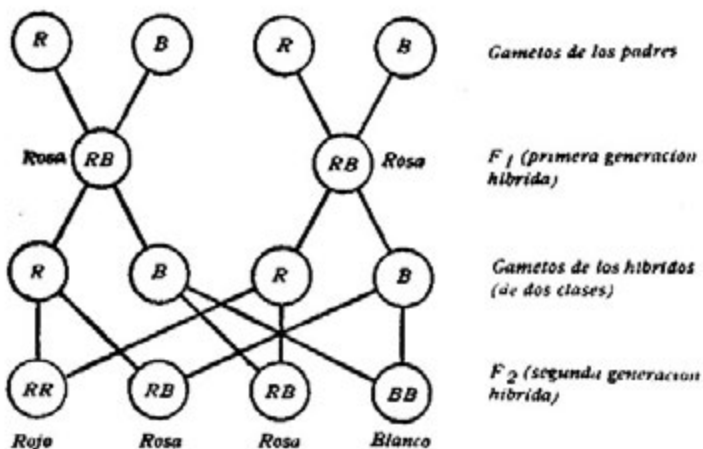


Fig. 20.—Esquema de la herencia en el cruzamiento del dondiego de noche de flor blanca con el de flor roja.

Híbridos y líneas puras.

Si las flores blancas del dondiego de noche se fecundan con polen de flores blancas, la descendencia que resulte será, en todos los casos, blanca, y análogamente uniendo rojo con rojo se producirá sólo rojo. Ambas líneas quedarán fijas para el color en un número indefinido de generaciones. Una estirpe así es una línea pura por lo que se refiere al color.

En estas líneas puras están presentes sólo los genes de un color y, por consiguiente, sólo éste puede ser transmitido.

Análogamente se ha indicado en los párrafos y en el esquema precedente (fig. 20) que los individuos de flores rosadas poseen los genes de ambos caracteres, rojo y blanco; estos individuos transmitirán, por consiguiente, genes de ambos caracteres en la relación indicada. Estos individuos que contienen genes de caracteres contrarios se llaman híbridos. Naturalmente, los híbridos no pueden criar con fijeza en las generaciones sucesivas. No es posible fijar, por ejemplo, una variedad de dondiegos de noche rosados,

pues en cada generación habrá algunas plantas de flores blancas y otras de flores rojas.

Algunas aplicaciones prácticas.

En todas las razas de plantas cultivadas y de animales domésticos, existe considerable variedad de forma, color y otros caracteres. Algunas de estas variaciones son de más valor que otras para los usos del hombre. Si las plantas o animales de una especie se cruzan entre sí libremente, todas las variaciones, buenas y malas, tienden a perpetuarse: todos los individuos serán híbridos. De esta situación son buen ejemplo los perros ordinarios mestizos, entre los cuales se encuentra una extraordinaria variedad de color, tamaño y conformación. Entre estos perros vulgares mestizos hay algunos excelentes, pero es imposible predecir si la descendencia de un buen mestizo será como él o no, y, por consiguiente, los cachorros tienen poco valor. Por el contrario, cuando perros de un tipo selecto han sido apareados sólo con otros del mismo tipo durante muchas generaciones, ha quedado establecida una raza pura precisa; y, como se sabe que los antepasados de los animales de genealogía conocida han correspondido fielmente al tipo durante muchas generaciones, el tipo de sus descendientes puede ser predicho, con mucha probabilidad, y son, por consiguiente, de gran valor.

El ganadero paga con gusto un precio elevado por caballos, toros, cerdos y carneros de genealogía conocida, porque está seguro de que, no sólo el animal comprado es de un buen tipo, sino que todos sus antepasados, durante algunas generaciones, han sido del mismo tipo, y, por consiguiente, sus descendientes serán también de él. El valor de las líneas puras está, por consiguiente, en su constancia:

La perpetuación de los híbridos se estudiará más adelante.

La ley de disyunción.

Aun cuando ordinariamente se supone que los caracteres opuestos en los padres se mezclan en los hijos formando algo intermedio, se ha visto que esta mezcla es sólo aparente, pues en la generación siguiente ambos caracteres surgen de nuevo con su pureza primitiva. Por consiguiente, los genes de un carácter indeseable, llevados a un país por un inmigrante, no desaparecerán en generaciones ulteriores, mezclándose en la masa general de la población; por el contrario, hay que temer que los genes y el carácter reaparezcan en cada una de las sucesivas generaciones de descendientes. Igualmente, los caracteres deseables hay que esperar que reaparezcan regularmente.

Es una regla general que el gene de un carácter hereditario conserva su individualidad aun cuando esté presente, en la misma planta o animal el gene del carácter contrario, como rojo y blanco en el dondiego de noche de flores rosadas. Cuando se forman los gametos los genes de caracteres opuestos se separan uno de otro sin contaminarse: esto es lo que se llama *ley de disyunción* o *de segregación*. Fué descubierta, por vez primera, junto con otras leyes de herencia por Gregor Mendel, por lo cual es conocida como una de las *leyes de Mendel*.

Dominación

Alguien que haya criado conejillos de Indias, conejos u otros animales domésticos, podría objetar que los hechos de la herencia no siempre son como en el ejemplo del dondiego. Si se cruzan conejillos de Indias negros puros con blancos puros, los hijos serán todos negros y no grises. Esto parece ser una excepción bastante llamativa a las reglas que se acababan de dar, pero el que estudie cuidadosamente la cuestión se inclinará a pensar que hay que conocer más de una generación de híbridos antes de sacar conclusiones. Sigamos, por consiguiente, varias generaciones con objeto tanto de descubrir hechos como de interpretarlos.

Se observa que si los individuos de la primera generación híbrida (todos negros según se ha dicho) se unen entre sí, la descendencia, a la generación siguiente, está formada por tres cuartas partes de individuos negros y sólo una cuarta parte de individuos blancos. Además, los blancos unidos entre sí, producirán en la tercera, cuarta y sucesivas generaciones, sólo conejillos de Indias blancos; es decir, son blancos puros. También se puede demostrar que una tercera parte de los individuos negros son capaces de transmitir solamente negro; es decir, son negros puros. Los restantes negros criando entre sí producen blancos y negros en la relación de un blanco a tres negros. Esta compleja situación se comprende mejor examinando el esquema siguiente (fig. 21).

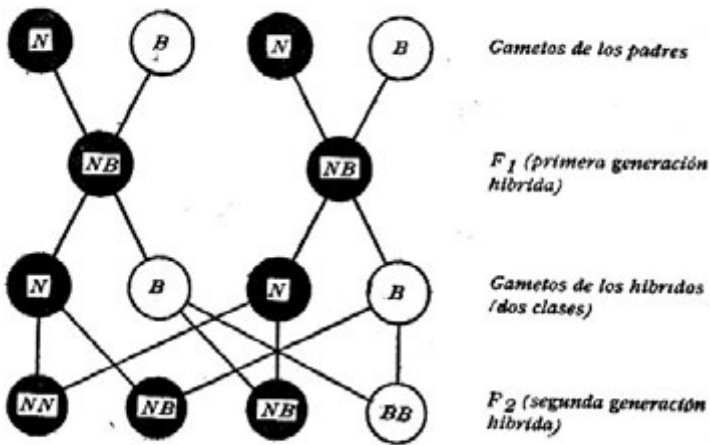


Fig. 21.—Esquema de la herencia en el cruzamiento de conejillos de Indias blancos y negros.

Caracteres dominantes.

Aun cuando en el caso precedente los miembros de la primera generación híbrida tienen el mismo aspecto de su progenitor negro, basta reflexionar un poco para ver claramente que no pueden ser en realidad como el progenitor negro. En primer lugar, cada individuo híbrido se ha desarrollado a partir de un huevo fecun-

dado formado por la unión de dos gametos, uno de los cuales vino de un progenitor blanco y pudo sólo llevar los genes del carácter blanco, mientras que el otro gameto pudo llevar sólo los del carácter negro; de este modo el individuo tuvo que llevar en su cuerpo los genes de los caracteres negro y blanco; en segundo lugar, esta idea está confirmada por el hecho de que una parte de la descendencia en la generación siguiente es blanca. Por consiguiente, tenemos pruebas de que, aun cuando son completamente negros en apariencia, han recibido el gene del carácter blanco y lo han transmitido.

Un individuo no puede ciertamente transmitir lo que no posee; de aquí se sigue que los híbridos negros poseen el gene de un carácter (el blanco) que no lo muestran en su aspecto. De este carácter se dice que es *recisivo*. Un carácter que se manifiesta siempre que está presente excluyendo, al parecer, otro carácter opuesto, se dice que es *dominante*. En los conejillos de Indias el negro es dominante sobre el blanco; en el dondiego de noche ni el blanco ni el rojo es dominante, pues ambos producen algún efecto.

También en este caso es necesario recurrir a esquemas para completar la explicación. El presente (fig. 21) está hecho conforme al mismo plan que uno de los del dondiego de noche, pero los círculos tienen color que indica el *aspecto* de los animales. Nótese que donde quiera que existen genes de negro —unidos o no a genes de blanco— el individuo es, a la vista, negro.

Interpretación.

La figura muestra que aun cuando en la segunda generación de híbridos la relación parece ser de tres a uno, hay en realidad una cuarta parte de recesivos puros (blanco, BB), un cuarto de dominantes puros (negros, NN) y una mitad de híbridos (NB). La verdadera relación es, por consiguiente,

1: 2: 1, que es exactamente la razón encontrada en el caso del dondiego de noche.

La ley de dominación.

Es muy común en los caracteres presentar el fenómeno de dominación. En realidad, es relativamente raro el encontrar dos caracteres tan igualmente equilibrados como ocurre en el caso del dondiego de noche. La dominación completa o casi completa es más bien la regla y, por consiguiente, se debe esperar que toda la primera generación híbrida y tres cuartas partes de la segunda generación presenten el carácter dominante. Esta es la ley de dominación.

Fenotipos y genotipos.

¿Cuántos tipos de conejillos de Indias se producen en la segunda generación híbrida? Si consideramos sólo el aspecto de los animales hay dos tipos: negro y blanco; pero si consideramos la constitución hereditaria real de estos animales (tanto de los dominantes como de los recesivos) hay tres tipos: negro puro (NN), blanco puro (BB) y negro híbrido (NB). Los tipos fundados en el aspecto se llaman *fenotipos*, mientras que los fundados en la naturaleza hereditaria real se llaman *genotipos*. El esquema precedente de la herencia en el conejillo de Indias muestra dos fenotipos y tres genotipos.

Reversiones y mutaciones.

No es extraordinario encontrar, tanto entre las plantas cultivadas y animales domésticos, como entre los seres humanos, individuos que presentan caracteres que no se reconocen en los antepasados próximos. Estos caracteres pueden ser caracteres recesivos que en realidad estaban

presentes en cada generación de antepasados, pero oscurecidos por la presencia de un carácter dominante. También pueden deberse al efecto combinado de genes complementarios —aportados parte por uno y parte por otro de los padres— que solos no pueden producir el carácter, pero que son capaces de hacerlo cuando están combinados. Si fuese factible investigar el abolengo subiendo en él todo lo necesario, se podría descubrir el origen de estos caracteres. Cuando se presentan individuos con estos caracteres hereditarios inesperados, se suele decir que ha ocurrido un *salto atrás* o una reversión.

En un corto número de casos los caracteres que se presentan no pueden ser referidos a un tipo que se haya dado en los antepasados. Son caracteres nuevos, acerca de cuyo origen nada sabemos. Estos caracteres surgen súbitamente, sin historia hereditaria, pero son capaces de transmitirse por herencia; se les llama *mutaciones*. En otro lugar trataremos de ellas más extensamente.

Dos pares de caracteres

Hasta ahora hemos fijado la atención en un solo par de caracteres en cada ejemplo, como negro y blanco en los conejillos de Indias. Evidentemente, cada animal o planta es un complejo de muchísimos caracteres. Conejillos de Indias los hay de pelo largo y de pelo corto, lo mismo que de pelo blanco y de pelo negro. Estos diferentes caracteres ¿se heredan separadamente o están enlazados de alguna manera? Es decir, si un conejillo de Indias con pelo negro corto se aparee con otro de pelo largo blanco ¿los nietos blancos tendrán todos pelo largo o podrán algunos tenerlo corto?

Los guisantes y el estudio de la herencia.

Mendel se ocupó de la cuestión a que se refiere la pregunta anterior como lo hizo también de otras referentes a la herencia. Para sus experimentos utilizó los guisantes, que proporcionan buenos ejemplos. Antes de discutir los experimentos daremos una lista de algunos caracteres indicando la dominación. Esta lista no comprende todos los caracteres que utilizó Mendel, pero nos servirá de punto de referencia.

DOMINANTE

Vaina verde.

Alto.

Semilla (cotiledones) amarilla.

Semilla lisa.

RECESIVO

Vaina amarilla.

Enano.

Semilla (cotiledones) verde.

Semilla rugosa.

Los guisantes son un material excelente para estos estudios, porque tienen caracteres fáciles de distinguir, es sencillo protegerlos contra la polinización cruzada, se crían sin dificultad en gran número y se desarrollan con rapidez. Biólogos posteriores han hecho experimentos con muchas otras plantas y animales, como el maíz, los conejos domésticos, las ratas, la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*), cierto saltamontes, etc.

Supongamos que un experimento se inicia con dos clases de guisantes y que una de ellas tiene las semillas amarillas y rugosas mientras que la otra tiene semillas verdes y lisas. Se ve que la primera generación híbrida (llamada ordinariamente F_1) tiene semillas amarillas y lisas. Compárese este resultado con la lista de dominación que se acaba de dar y nótese que este resultado está de acuerdo con ella. Los cruzamientos que comprenden dos pares de caracteres se llaman cruzamientos *dihíbridos*.

Si estos híbridos de la primera generación se autofecundan o se

unen entre sí, la segunda generación híbrida (F₂) presentará, por término medio, la siguiente relación en la distribución de tipos:

- Amarillos lisos 9
- Verdes lisos 3
- Amarillos rugosos 3
- Verdes rugosos 1

Es evidente que se presentan todas las combinaciones posibles de caracteres y, por consiguiente, vemos que los caracteres de pares distintos se heredan separadamente. Así en este caso color y forma de la semilla no van nada unidos entre sí; el progenitor

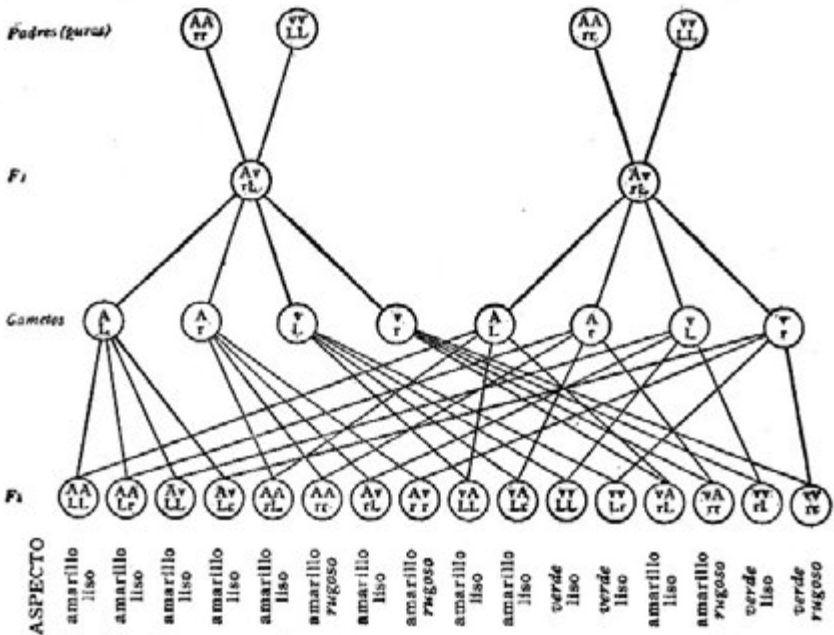


Fig. 22.—Esquema de la herencia en un dihíbrido mendeliano.

Cruzamiento de guisante de semilla amarilla rugosa (A A r r) con guisante de semilla verde lisa (v v L L). Los híbridos de la primera generación (F₁) se han autofecundado. Las mayúsculas representan los caracteres dominantes.

amarillo, por ejemplo, tenía semillas rugosas, pero la mayor parte de las semillas amarillas de la generación F₂ son lisas. La razón 9 :

3 : 3 : 1 necesita explicación más extensa y, como de costumbre, será útil un esquema. En la figura 22, los caracteres dominantes están representados por letras mayúsculas, y los recesivos por minúsculas.

Una figura como la que damos muestra de un modo muy completo la herencia en los dihíbridos, pero resulta complicada. Se puede construir un cuadro semejante para mostrar la herencia en los trihíbridos, en los que entran tres pares de caracteres; pero la creciente complicación hace ya muy difícil construir y usar este tipo de figuras cuando entran muchos pares de caracteres. Los hechos principales referentes a la generación F₂ se representan más sencillamente por otra figura en forma de tablero de damas

Gam. F Gam. M	A L	A r	v L	v r
A L	AA LL	AA rL	vA LL	vA rL
A r	AA Lr	AA rr	vA Lr	vA rr
v L	Av LL	Av rL	vL LL	vL rL
v r	Av Lr	Av rr	vL Lr	vL rr

Fig. 23.—Generación F₂ de un dihíbrido, representada mediante el cuadro de Punnett.

(El punteado representa el color verde.)

conocida como el cuadro de Punnett. En la figura 23 los mismos guisantes dihíbridos están representados de esta manera. Como antes, las letras A, L, v, r, representan los genes de los caracteres hereditarios; pero, además, el aspecto de las semillas está indicado por redondeles lisos o irregulares y por blanco o punteado. Conviene comparar esta figura 23 con la precedente (fig.22) punto por punto.

Descendencia de los dihíbridos

Si basamos en el aspecto la clasificación de la F₂ de híbridos, hay naturalmente cuatro clases (fenotipos) como se ha visto, pero si basamos la clasificación en la naturaleza hereditaria real -es decir, en los genes que posee- hay nueve clases (genotipos). Ambos modos de clasificación y su relación mutua se pueden ver en el siguiente cuadro:

FENOTIPOS (Aspecto)		GENOTIPOS (Combinaciones de genes)	
A. Amarillos lisos.....	9	}	a. AA LL 1
			b. AA Lr 2
			c. Av LL 2
			d. Av Lr 4
B. Amarillos rugosos.....	3	}	e. AA rr 1
			f. Av rr 2
C. Verdes lisos.....	3	}	g. vv LL 1
			h. vv Lr 2
D. Verde rugoso.....	1		i. vv rr 1

Se puede ver que de los nueve tipos fundados en el estudio de las combinaciones de posibilidades internas o genes (genotipos), cuatro son puros y criarían con fijeza; a saber los tipos *a*, *e*, *g*, *i*. Dos de éstos (*e*, *g*) son como los abuelos mientras que los otros dos (*a*, *i*) son tipos nuevos que crían con fijeza en ambos caracteres y son diferentes de los dos abuelos. Las probabilidades de obtener como tipos puros, en la descendencia de los dihíbridos, una combinación determinada de genes, son como 1:16. El recesivo puro (*i*) se reconoce siempre fácilmente; los otros tres individuos puros y que, por consiguiente, crían con fijeza, tienen por imitadores los tipos mixtos de igual aspecto que en el cuadro están unidos a ellos por una llave, y sólo pueden ser distinguidos por experimentos de cría en el curso de los cuales se muestre qué genes transmiten a sus descendientes y, por consiguiente, qué genes poseen.

Ley de la distribución independiente.

Fundándose en experimentos como los que se acaban de describir, ha quedado determinado que muchos caracteres se heredan separadamente; sin que estén de ningún modo ligados entre sí. Esto se conoce con la expresión de *ley de distribución independiente*.

Existen excepciones a esta ley, cuando dos caracteres son llevados por el mismo cromosoma. En este caso hay que esperar que todos los caracteres llevados por un cromosoma dado tienen que estar ligados entre sí en la herencia. Se conocen muchos de estos casos de ligamiento (*linkage*) y más adelante mencionaremos alguno de ellos.

Trihíbridos.

Del mismo modo que se forma el cuadrado de Punnett para un dihíbrido (fig. 23), se puede construir para los trihíbridos, por ejemplo, para el que resulte de cruzar un guisante alto, de semillas amarillas lisas, con un guisante enano, de semillas verdes rugosas. Usando el mismo método anterior de representar las combinaciones de genes, y representando alto por *G* (inicial de grande) y enano por *e*, las combinaciones posibles en los gametos son como sigue:

Generación: F₁.....*GeAvLr*

Gametos: *GAL GvL GAR Gvr eAL evL eAr evr*

Existen, pues, ocho tipos posibles de gametos, y el cuadrado de Punnett tendrá 64 casillas correspondientes a 64 casos, y su examen mostrará que existen 8 fenotipos y 27 genotipos. La relación entre los fenotipos es 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1. Los 8 tipos siguientes son puros y criarán con fijeza.

- a. G G A A L L..... alto amarillo liso.
- b. e e A A L L..... enano amarillo liso.
- c. G G v v L L alto verde liso.
- d. e e v v L L enano verde liso.
- e. G G A A r r..... alto amarillo rugoso.
- f. e e A A r r enano amarillo rugoso
- g. G G v v r r..... alto verde rugoso.
- h. e e v v r r enano verde rugoso.

Estos individuos representan todas las combinaciones posibles que criarán con fijeza. Dos de ellos (*a* , *h*) son como los abuelos, mientras que los otros seis son nuevas combinaciones. La probabilidad de obtener cualquier combinación fija de esta naturaleza en la generación F₂ de los trihíbridos es como 1 : 64.

Mejoras de las razas por hibridación.

Los criadores de animales y plantas acostumbran desde antiguo a sacar ventaja de la hibridación para producir animales o plantas que tengan combinaciones de caracteres nuevas y convenientes. Es probable que la mayor parte de nuestros animales domésticos y plantas cultivadas provengan de híbridos. En muchos casos la hibridación tuvo lugar voluntaria o accidentalmente en los tiempos prehistóricos; los que hoy se esfuerzan en perfeccionar nuestras formas domésticas tienen la ventaja de conocer más exactamente que los hombres primitivos lo que pueden esperar y les es dado, por consiguiente, producir resultados con mayor seguridad.

El proceso de producción de nuevas variedades, aun con nuestro moderno conocimiento de los métodos, es lento y laborioso. Una grave dificultad nace del hecho de que hay que tener en cuenta

un gran número de caracteres útiles. Se indicó antes que al considerar tan sólo tres pares de caracteres, las probabilidades de obtener una combinación nueva deseada son tan sólo como 1 : 64, y en la mayor parte de las plantas cultivadas y animales domésticos, se combinan muchísimos más de tres caracteres deseados: un buen tomate ha de tener ciertos caracteres de color, tamaño, sabor, forma, textura, tamaño y número de las semillas, tiempo de madurez y condiciones de transporte; las vides han de producir abundante fruto; mantener éste separado del suelo, resistir enfermedades y poseer muchas otras buenas cualidades. En un intento de combinar todas las buenas cualidades mencionadas o más en un solo tipo por hibridación, ¿cuáles serían las probabilidades numéricas? Seguramente no mayores de uno entre millares; quizás sólo de uno entre decenas de millares. Es, por consiguiente, necesario al criador práctico producir y descartar millares de tipos por uno que parezca que vale la pena de ser conservado.

Luther Burbank produjo por hibridación la mayoría de sus asombrosos resultados; su éxito se debió, en parte al menos, a la gran escala en que realizó sus trabajos.

Caracteres que parecen mezclarse.

Como todas las pruebas presentadas dejan la impresión de que cada carácter conserva su individualidad separada y no se mezcla con otros, las personas de espíritu indagador querrán descubrir casos en los que parezca que ocurre la mezcla. Es sabido que en el hombre los cruzamientos entre blancos y negros producen en las generaciones siguientes una gran variedad de matices; en individuos de la misma familia pueden alcanzar desde color muy oscuro hasta colorés tan claros que apenas se puedan distinguir de los del blanco. Naturalmente, las personas no se pueden someter a experimentos como los realizados con animales inferiores y, por consiguiente, para explicar el caso anterior hay que recurrir a la experimentación con plantas y animales.

Existe una variedad de trigo de granos rojos que cuando se cruza con una variedad de granos blancos produce un híbrido con granos de color intermedio; en este respecto se parece al dondiego de noche. Si el híbrido se fecunda a sí mismo, la generación F₂ produce no sólo granos rojos y blancos, sino también variedad de matices intermedios. Esto es semejante a lo que ocurre con el color en los cruzamientos humanos, y parece ser también un caso de mezcla de caracteres. Un examen más cuidadoso muestra, sin embargo, que no hay en el trigo de que hablamos un número indefinido de matices intermedios; en realidad, no hay más que cinco matices intermedios que unidos al rojo y al blanco hacen en total siete.

La explicación parece ser que el rojo no es un carácter simple, sino que hay tres genes causantes del color rojo; la planta de abolengo rojo heredó estos tres genes de cada uno de sus padres y poseía, por consiguiente, seis genes de color; el número completo de seis es necesario para el desarrollo de toda la intensidad del color. La generación F₁ heredó los tres genes de color de uno de sus padres, pero no heredó ninguno del otro; es, por consiguiente, de color más claro. Como existen tres juegos de genes de color, estamos en realidad ocupándonos de un trihíbrido. El cuadrado de Punnett mostraría que en la generación F₂ un individuo entre cada 64 debe heredar los seis genes de color (tres de cada uno de sus padres) y tiene que ser rojo; un individuo no debe heredar ningún gene de color y tiene que ser blanco; los restantes deben heredar uno, dos, tres, cuatro o cinco genes de color y muestran con arreglo a ello los correspondientes matices intermedios.

Sabido es que en el hombre el color es debido, por lo menos, a dos genes y quizás a más. Se ha de esperar, por consiguiente, que en la generación F₂ y siguientes del cruzamiento de blanco con negro se encuentre un cierto número de matices, y esto corresponde con lo observado.

Ligamiento de caracteres.

Si los caracteres están representados en los cromosomas por genes, ¿cómo se pueden heredar independientemente los caracteres, según las leyes de Mendel, cuando el número de caracteres es mucho mayor que el de cromosomas? Los genes de un gran número de caracteres ¿no tendrán que ser necesariamente llevados por un mismo cromosoma y estar por consiguiente ligados entre sí en la herencia? La respuesta es que así ocurre en la realidad. En muchos casos los caracteres están ligados entre sí de tal modo que se heredan por grupos, pero también entonces los grupos obedecen a las leyes de Mendel. Donde mejor se conocen los hechos es en la mosca del vinagre, en la que el ligamiento ha sido cuidadosísimamente estudiado.

La herencia de la ceguera para los colores o daltonismo ofrece un ejemplo de ligamiento en la herencia humana tan interesante y notorio que merece nueva atención. Para aclarar este punto es necesaria otra explicación sobre los cromosomas.

Como el núcleo de un huevo fecundado contiene dos juegos de cromosomas (uno de origen materno y otro de origen paterno), de ello se sigue el número total de cromosomas en el huevo fecundado será ordinariamente un número par; es decir, si el espermatozoide y el óvulo contribuyen cada uno con cinco cromosomas, el huevo fecundado contendrá dos juegos de cinco que suman diez en total. Sin embargo, se conocen bastantes animales en que el número de cromosomas ¿portados por el espermatozoide y por el óvulo no es el mismo; esto es, que en el huevo fecundado falta un miembro de uno de los pares. Así, en un cierto insecto hemíptero que ha sido bien estudiado, existen, en la hembra, siete pares de cromosomas (catorce en total); mientras que en el macho de la misma especie hay seis pares completos y un cromosoma impar (quince solamente en total); el cromosoma impar se llama *cromosoma X* (en la hembra hay, por tanto, dos cromosomas X). De aquí se sigue que, como resultado de la división reductora en la

formación de los gametos, los óvulos tendrán siempre siete cromosomas, mientras que los espermatozoides tendrán unos siete y otros seis. El sexo está relacionado con el cromosoma X, pues si un óvulo es fecundado por un espermatozoide con siete cromosomas, y el cigoto o huevo fecundado resultante tiene por consiguiente catorce cromosomas (entre ellos dos cromosomas X), se desarrollará dando una hembra; y, por el contrario, si un espermatozoide con sólo seis cromosomas fecunda un óvulo, habrá en el cigoto o huevo fecundado un solo cromosoma X y, por consiguiente, sólo trece cromosomas en total, y este huevo producirá un macho. Otro caso es el de aquellos animales en que hay un número par de cromosomas en ambos sexos, pero en uno de los sexos el compañero del cromosoma X difiere de éste en tamaño o de otro modo, y se llama *cromosoma Y*. En el hombre hay cuarenta y seis cromosomas, y el cromosoma Y es sumamente pequeño: la mujer tiene dos cromosomas X; el varón tiene cromosoma X y cromosoma Y.

Ocurre que el daltonismo está relacionado con los cromosomas X, que en la mujer son dos y en el varón uno. Si en una mujer un cromosoma X lleva el defecto, el otro, probablemente, llevará los genes de la visión perfecta del color y el defecto no se manifestará; pero como el hombre no tiene más que un cromosoma X, si éste lleva el defecto, el hombre será daltoniano. El daltonismo es un defecto más frecuente en los hombres, aun cuando raras veces aparece también en las mujeres. Puede existir en las mujeres como recesivo y se hereda pasando por ellas. Un hombre daltoniano, con una mujer normal, de abolengo normal, no puede tener hijos ni hijas daltonianos; pero sus hijas son portadoras del gene de daltonismo. Si se casan con hombres normales la expectativa es que la mitad de sus hijos varones sean daltonianos. Hay algunas excepciones a esta regla, pero subsiste en la mayor parte de los casos. Otros defectos siguen esta misma regla.

Mutaciones.

Ya hemos hablado de la aparición de mutaciones. Un ejemplo frecuentemente citado es el carnero “ancon”: en 1791 nació en un rebaño de Massachusetts un cordero con el lomo largo y patas muy cortas; esta peculiaridad resultó ser hereditaria, y de él se obtuvo una casta especial de carneros que se supuso útil porque no podían saltar fácilmente las cercas; pero fué suplantada por otros tipos y actualmente esta casta ha desaparecido. El ganado vacuno mocho de Hereford parece haber tenido un origen semejante. La naranja sin pipas o semillas también es indudablemente una mutación.

Sobre las causas que conducen a la mutación se sabe poco, pero se supone que han de consistir en algún cambio en los cromosomas. Esta opinión se basa en el hecho de que ciertas mutaciones están asociadas con anormalidades en los cromosomas; así, en algunas plantas mutantes, el número de cromosomas está duplicado como si la división reductora hubiese dejado de tener lugar del modo ordinario. En otros casos existe duplicación de un cromosoma, pérdida de una parte de un cromosoma, etc. Sin embargo, para muchos mutantes naturales no se conoce causa alguna.

Se ha visto que el someter las células germinales a dosis elevadas de rayos X, da por resultado la producción de un número extraordinario de mutaciones. Hay que suponer, mientras no tengamos mayor conocimiento del asunto, que los rayos X destruyen probablemente parte de los cromosomas o causan cambios en la disposición de sus partes, que producen una variación en el número o disposición de los genes. Las mutaciones como las que se acaban de indicar no se deben confundir con las variaciones adquiridas durante la vida del individuo (página 109) comúnmente llamadas caracteres adquiridos. Estas variaciones no son hereditarias, pero las mutaciones sí lo son.

Herencia y caracteres adquiridos.

Ahora podrá ser más fácil comprender por qué, especialmente en los animales, no hay herencia de caracteres adquiridos según se expuso en la página 109. Es evidente que la herencia está relacionada con los gametos y que para que un influjo afecte a la herencia tiene que poder actuar directamente sobre las células germinales. Las variaciones adquiridas durante la vida del individuo atañen sólo a las células del cuerpo y, hasta donde nos es conocido, no afectan en modo alguno a las células germinales. Sería por consiguiente de esperar que ninguna de las variaciones impuestas a un organismo por su ambiente se transmitiese por herencia a su descendencia, y así parece ocurrir, pues no se conocen ejemplos de herencia de tales caracteres. Por el contrario, los rayos X pueden pasar a través del cuerpo de un animal y de este modo actuar directamente sobre las células germinales produciendo los efectos antes señalados.

Por la relación estrechísima que existe en los mamíferos antes del nacimiento, entre la madre y los hijos, se supone muchas veces que en éstos puede ejercer gran influencia el medio que para ellos constituye la madre. Esta suposición tiene poco fundamento. Es cierto, evidentemente, que determinados venenos, si existen en la sangre de la madre, pueden pasar a la sangre del embrión; también la mala nutrición de la madre puede influir en la nutrición del embrión y es posible que el miedo, la ansiedad y otras emociones puedan alterar la composición de la sangre y de las secreciones internas hasta tal punto que influyan en el embrión, pero hay pocas pruebas de esto. Las deformidades físicas y las llamadas señales de nacimiento no se deben a influencias de la madre, como tampoco es dado a ésta dotar al niño de interés por la música, el arte u otro asunto aplicándose ella a estas actividades. Todo lo de esta naturaleza, en cuanto se refiere al niño aún no nacido,

está determinado por el juego de cromosomas que hay en el huevo fecundado.

CAPÍTULO XIV

NATURALEZA Y MEDIO EN LA HERENCIA HUMANA

Caracteres físicos hereditarios.

Es tan frecuente observar pruebas de herencia en el hombre que no es necesario hacer aquí una extensa exposición; el parecido entre padres e hijos y entre hermanos es frecuente. Esta observación vulgar ha sido confirmada por estudios científicos más exactos, y ciertos caracteres elegidos se han seguido en muchas generaciones; aunque, desgraciadamente, no es frecuente el poder seguir un carácter humano hasta donde quisiéramos, debido a la deficiencia de los datos registrados. En muchos casos, los caracteres elegidos para estudio son anomalías y defectos, y esta elección se debe a que tales caracteres son notorios y no se olvidan fácilmente; la sordera congénita o el tener seis dedos en las manos es lo bastante visible y raro para que haya seguridad de que se note y recuerde.

Las leyes de la herencia humana.

Las leyes ordinarias de la herencia ¿se aplican al hombre lo mismo que a los animales y a las plantas? En general, se puede decir que las mismas leyes subsisten donde quiera que podemos estudiar un caso sencillo y bien deslindado. Por desgracia, la herencia humana es especialmente difícil de estu-

diar por las causas siguientes:

1.^a Los caracteres en el hombre son, por lo común, más complejos que en cualquier otra especie de las que conocemos; es decir, que lo que parece un carácter sencillo resulta ser —como el color en ciertas variedades de trigo (atrás citadas— dependiente de varios factores distintos que, combinados, producen el efecto.

2.^a El hombre es sumamente variable, quizás más que ningún otro organismo.

3.^a Una gran parte de nuestro conocimiento de las leyes de herencia de las plantas y animales ha sido obtenido por medios experimentales. Los experimentos no son practicables en la herencia humana.

4.^a Cada generación humana dura tanto tiempo que un observador raras veces puede ver más de tres, cuatro o cinco generaciones de una familia dada. Las historias familiares pocas veces dan una información satisfactoria de los caracteres de generaciones pasadas. ¿Cuántos de los lectores de este libro, por ejemplo, tienen un conocimiento preciso de los caracteres de sus antepasados más allá de sus abuelos?

De las consideraciones precedentes resulta claro por qué los que estudian herencia han de descubrir las leyes principalmente por el estudio de las plantas y animales inferiores, y luego, con gran precaución, han de procurar utilizar los casos de los animales y plantas como tipos para la interpretación de la herencia en el hombre. Utilizando como material de estudio, por ejemplo, un insecto, que alcanza su desarrollo completo *en* pocas semanas, se puede, en algunos años, ver más generaciones de estos insectos que generaciones humanas ha habido en los cuarenta o cincuenta siglos transcurridos desde el comienzo de la historia.

Herencia del color de los ojos.

El color azul en el iris del ojo se debe a un pigmento que existe en el lado posterior del iris. Este color es muy claro en los niños porque el tejido del iris es delgado y transparente y permite que se vea el color a través de él; con la edad, el iris se hace menos transparente y los ojos azules se vuelven grises. En la mayor parte de las razas humanas existe también un pigmento oscuro en el lado anterior del iris, y, cuando este pigmento es abundante, oscurece por completo al pigmento azul, dando ojos castaños o negros. En muy pocos casos faltan en el ojo todas las clases de pigmento, y entonces el iris es de color de rosa o rojo, debido a los capilares sanguíneos. Esta falta completa de color en los ojos está asociada con la falta de pigmento en todo el cuerpo. Los individuos que la padecen se llaman *albinos*.

El color azul es recesivo respecto del color más oscuro y conduce como un carácter mendeliano sencillo; así, los hijos de padre y madre de ojos perfectamente azules, tendrán ojos azules: los hijos de una unión en que uno de los padres sea de ojos perfectamente azules y otro sea de ojos oscuros (puro para este carácter), serán todos de ojos oscuros. Si estos individuos de ojos oscuros (pero híbridos para este carácter) se casan con personas que sean, como ellos, producto de un cruzamiento, los hijos presentarán, en general, la razón mendeliana ordinaria (3 : 1). Otras razones se presentan cuando los padres tienen abolengo diferente.

El albinismo es también un carácter recesivo. Como rara vez ocurre que se casen dos albinos, hay pocas familias de albinos puros, pero en las familias en que se ha presentado el albinismo, es fácil que haya algunos albinos en cada generación: es posible aunque no probado, que toda la raza blanca deba considerarse como de albinos parciales.

Se sabe que la herencia de otros caracteres físicos es igual-

mente precisa, pero no igualmente sencilla. Así, la diferencia de pigmentación entre negros y blancos se cree que depende de dos pares de genes como antes se indicó.

La herencia de cualidades mentales.

El estudio de la herencia en las cualidades mentales ofrece dificultades mayores que en los caracteres físicos: a las dificultades anteriormente mencionadas, que tienen toda igualmente aplicación ahora, se añade todavía otras. Las cualidades mentales están escasamente conocidas y descritas y no se pueden separar claramente ni medir con exactitud. Es tan poco lo que se conoce sobre las cualidades mentales que casi nunca, o nunca, sabemos si un carácter mental es simple o complejo. Los resultados del ejercicio e imitación se confunden con los de la herencia, de manera que muchas veces es imposible decir si un hijo se parece a su padre en sus modales, lenguaje, manera de pensar, etc., a causa del tipo mental (o sistema nervioso) que ha heredado, o sencillamente porque ha vivido con su padre y ha llegado a imitarlo inconscientemente.

La cuestión de la herencia de las cualidades mentales es, sin embargo, importante por muchos conceptos. Tomemos como ejemplo dos casos extremos.

Dos ejemplos.

En los Estados Unidos una familia notable de origen colonial es la de Jonathan Edwards, que fué una de las figuras más salientes de la Nueva Inglaterra colonial. En un estudio de esta familia, hecho hacia el año 1900, se encontraron datos registrados de 1.394 personas. Algunos de los más importantes se consignan en la siguiente lista:

295 graduados de *college*.

13 presidentes de *colleges* importantes.

65 profesores de *college*.

60 médicos.

100 eclesiásticos y misioneros.

75 oficiales del ejército y la armada.

60 escritores notables.

100 jurisconsultos,

30 jueces,

80 funcionarios públicos, tres senadores y un vicepresidente.

15 altos empleados de los ferrocarriles.

“No se sabe que ninguno de ellos haya sido nunca condenado por un crimen.”

Una historia parecida muestra la familia Lee, de Virginia, cuyo miembro más notable fué el general de la Guerra Civil, Robert E. Lee. En esta familia predominan los militares y estadistas.

El contraste lo encontramos en la familia Juke Max, hombre holgazán y borracho que vivía en un valle de montaña del Estado de Nueva York, fué el fundador de esta familia, de la que se han encontrado 1 200 descendientes con el siguiente resultado:

300 han sido asilados; las estancias suman en total 2.300 años.

440 fueron físicamente miserables.

La mitad de las mujeres fueron prostitutas.

130 criminales, incluso siete homicidas.

Sólo 20 aprendieron un oficio, y 10 de éstos lo hicieron en establecimientos penitenciarios del Estado.

Ninguno recibió educación en una *common school*.

Estos individuos han costado al Estado de Nueva York 1.250.000 dólares y los gastos se continúan acumulando.

"Ninguno de ellos contribuyó nunca al bienestar social.»

Evidentemente no hay que suponer que los caracteres de las varias generaciones de cada una de estas familias hayan de referirse al único fundador en cada caso. Los casamientos con miembros de otras complican el problema y el medio tienen también su parte, pero subsiste el que ciertas familias están marcadas por caracteres distintivos, tanto físicos como mentales, durante varias generaciones.

Los deficientes mentales.

Bastante más de la mitad de los casos de deficiencia mental se cree que son hereditarios; la proporción llega quizá hasta tres cuartos. De familias como la de los Jukes y de muchos otros grupos antisociales semejantes que han sido estudiados, existen frecuentemente pruebas de que son deficientes mentales. El alcoholismo crónico, la inmoralidad sexual y la miseria están íntimamente asociados con la debilidad mental por ser debidos igualmente en gran parte a falta de *self-control* y a no apreciar las consecuencias futuras de los actos presentes. Algunos casos de deficiencia mental se conducen, en su herencia, de un modo sumamente semejante a simples recesivos mendelianos. Los hijos de un deficiente mental y una persona normal parecerán normales, pero todos ellos llevan el defecto recesivo. Si los individuos de esta generación se casan con otros que, como ellos, parecen normales, pero que llevan positivamente el defecto recesivo, una cuarta parte aproximada de los hijos serán deficientes mentales. Si un deficiente mental se casa con otro deficiente mental, lo que es un hecho frecuente, los hijos son todos, sin excepción, deficientes mentales. Esto es análogo a la herencia de la falta de pigmento en los conejillos de Indias, cuando dos individuos de esta clase (blancos) se unen entre sí. De este modo hay una tendencia al establecimiento de una casta humana defectuosa y necesitada. Debido a la falta de previsión y de *self control*, los deficientes men-

tales tienen frecuentemente numerosa familia, y aunque la mortalidad infantil es grande en ellos, hay pruebas de que, en los Estados Unidos, la porción defectuosa de la población aumenta más rápidamente que la población en general. Hasta el presente, la sociedad no ha llevado a práctica general ningún medio eficaz de reprimir el aumento numérico de los defectuosos, aun cuando un corto número de estados han tomado medidas en este sentido.

Aunque se ha observado que algunos casos de deficiencia mental parecen diferir de la normalidad mental por un solo gene, no hay que suponer que la mentalidad puede estar representada en la herencia por la posesión de un solo gene particular. Apenas es concebible que una cosa tan compleja como las acciones mentales puede estar representada en la herencia por un simple factor. Es más probable que la herencia de cualidades mentales, o más propiamente dicho, la herencia de un tipo determinado de cerebro que hace posibles estas cualidades, sea extremadamente complicada. Sin embargo, cuanto mayor sea la complejidad de la organización, tanto más probable es que su funcionamiento pueda ser trastornado por la falta de uno solo de sus muchos factores. Es por consiguiente posible que la deficiencia mental represente la falta de un solo factor que sea esencial para el debido funcionamiento de la mente. Considerado así, puede haber muchos tipos de deficiencia mental que dependerán de cualquiera de los muchos factores (o genes) esenciales sea el que falte. De este modo se explicaría el que la deficiencia mental se conduzca como un simple recesivo.

El grupo superior.

Siempre que se han hecho estudios para descubrir el abolengo de los hombres y mujeres eminentes o de talento, se ha encontrado que la mayor parte de ellos tienen muchos parientes de capacidad extraordinaria. Galton estudió cerca de mil hombres de mérito y encontró que tenían aproximadamente 135 veces más

parientes notables que los que se encontrarían para la población en general. En un estudio hecho en los Estados Unidos sobre varios cientos de niños, cuyo índice de inteligencia era de 140 o superior (lo que es excepcionalmente alto), se encontró que el 85 por 100 eran hijos de padres ocupados en las profesiones liberales o en el comercio, 10 por 100 lo eran de obreros especializados y 5 por 100 lo eran de obreros semiespecializados o de peones y braceros.

Este último estudio se toma como indicación de que, con las grandes oportunidades para la educación y la libertad profesional que existe en los Estados Unidos, los individuos de gran capacidad se han ingeniado para librarse del estado poco deseable del trabajo de bracero y que su capacidad ha sido heredada por sus hijos. Sin embargo, no toda la diferencia se debe atribuir a la herencia, pues existe también una diferencia en la educación doméstica y en las oportunidades de educación, que puede haber influido en los resultados de la medida de la inteligencia. No hay que suponer tampoco que datos como los presentados signifiquen que no exista un número importante de individuos con gran capacidad en el grupo de los obreros sin oficio especial. Aun cuando hay que admitir que muchas familias permanecen en el grupo inferior de la clase obrera durante generaciones y generaciones, porque no son capaces de otra cosa, es igualmente verdad que otras familias o individuos han sido retenidos en este grupo porque les han faltado las ocasiones de educación u otras oportunidades. Cada generación, por consiguiente, ve el encumbramiento de algunos individuos cuyas familias no habían antes prometido mucho: la escuela pública es la que proporciona ordinariamente la oportunidad.

El problema de la herencia y el medio.

Para el que estudie biología resultará evidente que toda persona adulta es un producto de dos juegos de fuerzas representados respectivamente por la herencia y el medio; pero si la importancia de ambos está admitida, no hay hasta el presente unanimidad acer-

ca de la cantidad de influencia que hay que asignar a cada uno o, como se ha dicho algunas veces, de la importancia relativa de «la naturaleza y la crianza».

El problema es importante, porque de su respuesta depende el fundamento mismo de nuestras instituciones sociales. Si la herencia es un factor sumamente preponderante, de ello se sigue que las posibilidades de perfeccionamiento en las escuelas estarían reducidas a límites muy estrechos: la criminalidad sería una enfermedad incurable, los inmigrantes deberían ser seleccionados exclusivamente sobre la base de *tests* mentales y, en general, el estado de cada individuo estaría predestinado desde el principio. Por el contrario, si es el medio factor sumamente preponderante, los miembros antisociales e ineficaces de la sociedad deben ser considerados como víctimas de un medio malo y, por consiguiente, podrían ser reformados por otro mejor; la escuela sería omnipotente, capaz de producir casi cualquier resultado deseado; todos habríamos nacido realmente iguales y cualquier clase de inmigrante podría ser convertido en un buen ciudadano por una educación adecuada.

Evidentemente, es difícilísimo separar los efectos de la herencia, de los efectos del medio. El niño vive de ordinario con sus padres durante todos los años formativos de su vida, y es sabido que muchos caracteres se aprenden por imitación. Así, el modo de hablar de uno variará de acuerdo con los que le rodean, de los cuales aprende el lenguaje. Igualmente otras muchas cosas se aprenden de los que nos rodean, y los que más próximos están al niño son los padres. Un cierto número de caracteres mentales de- ne, por consiguiente, que haber sido aprendido de ellos por imitación.

Aun cuando ordinariamente parece imposible distinguir entre caracteres mentales heredados y adquiridos, es, sin embargo, de cierta importancia hacer notar el parecido de la familia en los caracteres mentales comparado con el que existe en los caracteres

físicos. Si el medio influye grandemente en los caracteres mentales, habría que esperar que la semejanza entre padres e hijos o entre los hijos de una familia, fuese mayor para los caracteres mentales que para los físicos, pues estos últimos están poco influidos por el medio. Se ha visto que la intensidad del parecido mental es casi igual a la del parecido físico, y, además, el primero no vemos que aumente con la edad de los hijos, como tendría que ocurrir, a causa de una relación más larga, si este parecido fuese debido a la semejanza del medio.

Estudios en los gemelos.

Como los gemelos, de ordinario, están continuamente juntos durante los primeros años de su vida, el medio es para ellos casi idéntico. Ahora bien, existen dos clases de gemelos: los gemelos pueden resultar de dos huevos distintos, fecundados próximamente al mismo tiempo, que se desarrollan simultáneamente; pero pueden resultar también porque, en los primeros estados de su desarrollo, un solo huevo se separe en dos partes, cada una de las cuales se desarrolla independientemente. En este último caso, es evidente que las dos partes del huevo que se desarrollan son tan semejantes como es posible imaginar. Tienen la misma dotación hereditaria; se ha observado que los individuos que resultan son siempre del mismo sexo y que muestran tan estrecho parecido físico que es casi imposible distinguir uno de otro; se les denomina *gemelos idénticos*. En el otro caso, primeramente mencionado, los gemelos pueden ser de un mismo sexo o de sexo contrario; su parecido es como el de cualesquiera otros hermanos o hermanas.

Los estudios de la inteligencia y caracteres mentales de los gemelos idénticos demuestran que son tan sumamente semejantes en mentalidad como en cuerpo. Incluso cuando los gemelos de esta clase han sido separados muy pronto por haberse deshecho la familia y han sido criados en familias distintas y recibido tipos muy diferentes de educación, continúan mostrando semejanza muy

llamativa incluso en la edad madura; así, dos hermanas que fueron separadas a la edad de dos meses y que después sólo estuvieron juntas diez meses, en total, fueron sometidas ya adultas a *tests* mentales; una había sido educada para trabajos de oficina, la otra para maestra, y ambas habían ejercido su profesión respectiva de modo que habían estado en medios diferentes, no obstante lo cual en uno de los *tests* de inteligencia obtuvieron puntuaciones tan próximas como 153 y 156, y en otro 62 y 64.

Los gemelos ordinarios presentan una semejanza mental poco mayor que los otros hermanos y hermanas, y además, su semejanza mental no parece que aumente a medida que se hacen mayores como tendría que ocurrir si la semejanza en las familias fuese principalmente originada por el medio.

Estos hechos hablan en favor de que la herencia es lo que tiene más importancia, pero no demuestran que el medio sea despreciable. Otros estudios tienden a subrayar más el efecto de este último.

Estudio sobre los hijos adoptivos.

Frecuentemente los niños son adoptados por familias muy diferentes de la suya. En estos casos la estrecha relación con los padres adoptivos sustituye a la que habría con los padres verdaderos. También es ésta una ocasión para obtener alguna medida del efecto del medio estudiando el parecido entre estos hijos y sus padres adoptivos.

Galton, famoso investigador de la herencia, examinó los datos registrados sobre los hijos adoptivos de los popes. Se admitía que los popes eran hombres de considerable capacidad pues, si no, no hubiesen alcanzado aquel alto cargo. Sus hijos adoptivos, probablemente de capacidad media, tenían la oportunidad de criarse en un medio superior; pero se vió, sin embargo, que estos hijos adoptivos eran mucho menos a propósito para alcanzar las posiciones eminentes que los hijos verdaderos, de hombres de inteligencia igual

a la de los popes. Esto sugiere la idea de que la herencia es cosa de importancia considerable.

Un estudio de la correlación de la inteligencia de los padres e hijos adoptivos en América ha sido interpretado suponiendo que muestra que «la contribución total de la herencia no se aparta probablemente mucho del 75 u 80 por 100; pero otro estudio semejante concede, por el contrario, una influencia mucho mayor a los efectos del medio. Este último estudio indica que los niños adoptivos muestran en los *tests* una calificación de inteligencia que se parece a la del hogar en que viven más bien que a la de la casa de que fueron tomados; indican, al parecer, que en la inteligencia influye más el medio que la herencia. Estos resultados contradictorios muestran lo incompleto de nuestros conocimientos.

Discusión de los datos y conclusiones.

En las secciones precedentes se han mencionado con frecuencia los resultados de los *tests* de inteligencia y se han sacado conclusiones de ellos. Los *tests* de inteligencia se han aplicado prácticamente a fines tan distintos como la clasificación de alumnos en la escuela, la selección de candidatos para su Instrucción con destino a cargos como el de oficial de marina, y para la colocación de empleados en las casas de comercio. Los *tests* han resultado útiles para todos estos objetos.

Si se pide una definición del carácter llamado inteligencia se ve que no estamos cerca de la satisfactoria. «Capacidad de aprender» es lo que se puede admitir para nuestro objeto como un intento incompleto de definición:

Se concibe que esta capacidad se deba a características innatas del individuo, particularmente del sistema nervioso, y, por consiguiente, heredadas; puede ser debida a ejercicio y práctica y tener, por consiguiente, su origen en el medio; o puede ser resultado de que el medio desarrolle caracteres innatos. Los tres puntos de vista

son defendidos.

Facilitará, por consiguiente, la comprensión del problema el tener presentes las ideas siguientes:

1. Como no conocemos claramente la naturaleza de la inteligencia, es seguro que existe alguna oscuridad acerca de la significación de los *tests* de inteligencia. Sus resultados se deben utilizar con cautela.

2. La inteligencia es una cosa tan complicada que está justificado admitir que es un carácter biológico complejo más bien que simple; y que la inteligencia, según la conocemos, ha de ser debida a muchas cosas independientes. Si esto es exacto, no hemos de esperar obtener resultados firmes en el estudio de la herencia de la inteligencia hasta que podamos distinguir y medir los distintos componentes.

El punto de vista biológico.

Hemos visto que muchos caracteres físicos del hombre se heredan de acuerdo, al parecer, con las leyes comunes de la herencia. Los caracteres mentales, también se heredan evidentemente. En la mayor parte de los casos no se pueden analizar con seguridad suficiente para comprobar si se cumplen en ellos las leyes de la herencia; pero en algunos, como en el de la deficiencia mental, hay indicaciones de que estas leyes tienen también aplicación. Sobre esta base se puede esperar el construir algún día una teoría de la herencia mental fundada en la analogía con la herencia de los caracteres físicos. Esta teoría sería útil en la medida en que explicase hechos conocidos; pero tendría que estar abierta a correcciones por la futura ampliación de nuestros conocimientos.

En esta teoría tendríamos que admitir, en primer lugar, que cada individuo hereda un cerebro con un número, disposición, conexiones y calidad de neuronas que tiende a obrar más fácilmente de determinados modos y que así quedan establecidos ciertos ca-

racteres mentales. Esto explicaría el indudable parecido que existe entre los gemelos idénticos. Una imperfección en cualquier parte esencial del mecanismo daría por resultado una mentalidad defectuosa, como la de los deficientes mentales.

En segundo lugar, habría que admitir que la actividad del cerebro respecto a cualquier carácter mental, puede ser modificada por el ejercicio, como ocurre en los caracteres físicos. Así, un caballo de carreras se puede decir que es producto del ejercicio, pues sólo después de largo y cuidadoso ejercicio obtiene un éxito extraordinario en el hipódromo; pero no hay ejercicio que convierta en caballo de carreras a uno ordinario de tiro. Es evidente que, en este caso, la herencia pone los límites a que pueden llegar, y el medio (el ejercicio) desarrolla las facultades dentro de estos límites. Juzgando por analogía se debe esperar que, en cada dirección de la actividad intelectual, algunos individuos sobresalgan más fácilmente que otros; pero, por otro lado, casi todos los tipos de capacidad mental son susceptibles de perfeccionarse tanto por educación, que la mayor parte de las personas son capaces de alcanzar un grado de aptitud suficiente para llenar las exigencias ordinarias de la vida.

CAPÍTULO XV

LA EVOLUCIÓN DE LOS SERES VIVOS

Relaciones entre especies y variedades.

A quien sea observador le tiene que haber impresionado el gran número de especies de plantas y animales. Igualmente interesante es la estrecha relación entre las distintas especies de un género. Es sabido que un género está formado por especies que

ordinariamente tienen entre sí evidente semejanza y que a veces es difícil distinguir una especie de otra. ¿Cuántas personas hay que puedan distinguir fácilmente las especies de sauces? ¿Cuántas están seguras del número de especies de gorriones que viven en la mayor parte de las regiones de los Estados Unidos? Mucha gente expresa lo estrecho de esta semejanza mediante la advertencia vulgar de que ciertas clases de plantas y de animales son de una misma familia.

Las especies de un mismo género ¿están realmente emparentadas entre sí por descender de un antepasado común? Como hemos visto que los animales y plantas muchas veces cambian grandemente y que se producen nuevos tipos por los métodos usados en los experimentos de Genética, viene en seguida la idea que también en la naturaleza pueden tener lugar cambios semejantes. De este modo, especies muy próximas pueden estar positivamente emparentadas por descender de un antepasado común.

Las diferentes clases de perros muestran gran variedad: el perro de San Bernardo, el perro lobo ruso, el mastín, el perro policía alemán, el *chow*, el perro de Dalmacia, el pachón, el perro mejicano sin pelo y el pequinés presentan una variedad tan grande de tamaño y forma que, *si* no conociésemos su origen, tendríamos que pensar que eran especies distintas; sabemos, sin embargo, que se han originado en domesticidad y algunas de las razas en tiempos recientes. Los tipos de animales domésticos y plantas cultivadas son resultado de selección, mutación, hibridación y otros procesos que ocurren en las formas silvestres lo mismo que en las domésticas. ¿No podría ser, por consiguiente, que las diferentes clases de arces, por ejemplo, fuesen descendientes de un tipo antepasado común? Y análogamente, ¿no podrían, en general, las especies próximas ser el resultado de la descendencia de un origen común con progresiva modificación?

En todo caso, parece que no hay más que dos teorías posibles: o bien cada especie existente tiene un origen separado y ha sido

siempre como es ahora (*teoría de la fijeza de las especies*); o las especies actuales han descendido, con modificaciones, de antepasados comunes (*teoría de la descendencia con modificación*).

Descendencia con modificación.

La historia de la descendencia de los arces (*Acer*) debe haber sido aproximadamente la siguiente. Las simientes de arce son esparcidas, llevadas por los vientos; las semillas pueden germinar en terrenos pantanosos, en terrenos de fondo húmedo, en tierras altas y en muchos otros sitios, pero pocos de los arbolillos nuevos sobrevivirán a las vicisitudes de los primeros años. Como existe entre ellos considerable variación, sobrevivirán en los sitios pantanosos los mejor adaptados a la vida en lugares húmedos, mientras que tipos algo diferentes sobrevivirán en las tierras altas más secas y en las tierras de fondo húmedo. Por continuada perpetuación de distintos tipos de variación en estos diferentes lugares se pueden producir, finalmente, variedades o especies distintas.

De un modo parecido a éste pueden haberse originado el arce de los terrenos pantanosos (*Acer rubrum*), el de las tierras de fondo húmedo y orillas de los ríos (*Acer saccharinum*) y el de los bosques de tierras altas (*Acer saccharum*),

La idea de que las especies se han originado por descendencia con modificación no se debe adoptar sin el examen de las condiciones que presupone ni de los hechos con ella relacionados. Esta teoría presupone que las especies de plantas o animales son capaces de modificarse, pues de otro modo es evidentemente imposible la descendencia con modificación; en capítulos anteriores hemos visto que las plantas y animales pueden modificarse.

También hemos visto que las especies se parecen entre sí precisamente del modo como se parecerían en la descendencia común. Si las plantas y animales actuales son descendientes de formas más antiguas es de esperar que, por lo menos en algunos casos, pre-

sentasen restos de órganos que poseyeron sus antepasados, pero que ya no están en uso (*órganos vestigiales*), además en los estados por que pasa un animal en su desarrollo embrionario, tendríamos que encontrar algunas semejanzas con especies de su abolengo; tendríamos que hallar restos de las especies antiguas hoy ya extinguidas y estos fósiles tendrían que aparecer en las rocas en cierto orden que correspondiese al orden en que las especies se desarrollaron; y también, si los diferentes grupos de animales y plantas aparecieron sucesiva y no simultáneamente, tendría que haber alguna prueba de ello en su distribución.

Examinaremos a continuación algunos de estos puntos que no han sido tratados en las páginas precedentes.

Organos vestigiales.

El apéndice del hombre es un órgano que no tiene uso; es un saco corto y estrecho unido al intestino grueso cerca de donde éste se junta con el intestino delgado. No produce enzimas digestivas y es tan estrecho que los alimentos no entran en él; no realiza ninguna función, pero con frecuencia es lugar de graves infecciones que pueden causar la muerte, a menos que el apéndice se extirpe por una operación quirúrgica. En algunos vertebrados el apéndice es una parte grande y funcional del aparato digestivo, pero en el hombre y en la mayoría de los otros mamíferos no tiene uso y está reducido a un vestigio.

El toro tiene en cada pata sólo dos dedos que funcionen, los cuales constituyen las dos partes de la pezuña; otros dos dedos son demasiado cortos para llegar al suelo y que no efectúan ninguna función importante, forman los "uñaños" de detrás de la pata. El caballo tiene sólo un dedo en cada pata, pero existen los vestigios de otros dos. Se han observado centenares de ejemplos de órganos vestigiales en los animales.

Unidad en la variedad.

Hemos visto cómo órganos que son útiles en un grupo de animales, pueden en otro no tener uso y estar reducidos a meros vestigios; pero, de cualquier modo, la unidad de la naturaleza y el parentesco real entre las diferentes especies está expresado por el hecho de que el órgano está presente incluso sin ser usado. La misma unidad y parentesco están expresados en las diversas formas que pueden tomar los órganos y en los diversos objetos para que pueden servir sin perder su plan fundamental de estructura. Así, como antes se expuso, los miembros de todos los vertebrados superiores a los peces se puede pensar que son modificaciones de un miembro con cinco dedos. En animales tan diferentes del hombre, como la tortuga, la rana y el gato, se reconoce la misma disposición. En realidad, las diferencias son tan pequeñas que las disecciones de estos y de otros animales son utilizables para demostrar hechos del estudio elemental de la anatomía humana.

En los miembros anteriores de la ballena existen los huesos usuales, pero estos miembros están modificados, formando un par de aletas para nadar; en el murciélago, cuatro dedos son sumamente alargados, de modo que los más largos pueden serlo casi tanto como el resto del miembro (fig. 2.^a, y la membrana que forma el ala está extendida por estos dedos; ciertos reptiles extinguidos estaban provistos de alas semejantes a las de los murciélagos, pero en este caso era el dedo meñique solamente el que estaba alargado y mantenía extendida la membrana; en el esqueleto del ala de las aves sólo se encuentran representados tres dedos, y éstos constituidos de tal modo que prácticamente equivalen a uno; y, como antes se dijo, los toros tienen sólo dos dedos funcionales, y los caballos uno. En todos estos casos, sin embargo, se pueden reconocer los huesos y articulaciones correspondientes al brazo, antebrazo, muñeca y mano, y se ve así que, aun cuando los miembros anteriores de los vertebrados se utilicen para fines tan diversos como coger objetos, correr, nadar y volar, la estructura fundamental es la

misma. Estas homologías fundamentales se interpretan como representación de parentesco real.

Embriología.

Si se observan los peces y los renacuajos al salir del huevo no puede uno por menos de asombrarse de la *semejanza*. Recién salidos del huevo, tanto los renacuajos como los peces, tienen forma alargada y esbelta; unos y otros nadan por movimientos de la cola y toman oxígeno por medio del branquias; en una palabra, unos y otros se presentan casi igualmente pisciformes. El renacuajo después cambia algo de forma y parece menos a un pez; pero, durante mucho tiempo, continúa viviendo en el agua y respirando por medio de branquias; más tarde, adquiere patas y pulmones y la cola y branquias se resorben, transformándose así en rana.

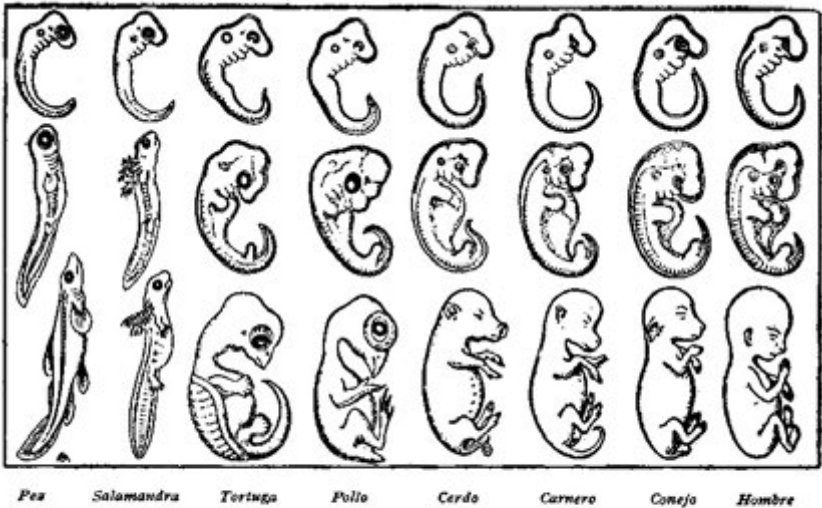


Fig. 24.—Embriones de vertebrados.

Las tres filas representan tres estados de desarrollo. En la fila superior los embriones de las diferentes especies se parecen mucho; en la segunda fila, todos menos el pez y la salamandra, tienen bastante semejanza; en la fila inferior, son claramente diferentes. (De Gruenberg.)

En los primeros estados de su desarrollo el embrión de un ave o de un reptil tiene una forma llamativamente semejante a la de un

pez (fig. 24); pero, lo que es mucho más asombroso, se les forman aberturas branquiales y los correspondientes vasos sanguíneos semejantes a los que abastecen de sangre a las branquias de los peces. Mucho antes de que el embrión esté pronto para salir del huevo, las aberturas branquiales se cierran, sus vasos sanguíneos cambian de disposición, mas no sin dejar algunos vestigios de su carácter primitivo, y los pulmones aparecen. El ave o reptil pasa así por un estado pisciforme a pesar de que jamás puede vivir en el agua ni tiene ocasión de utilizar las branquias.

En los mamíferos aparece igualmente el aparato branquial en un estado muy temprano de su desarrollo (fig. 24) para desaparecer sin haber funcionado. También en este caso subsisten vestigios de la condición primitiva; la disposición de algunas de las arterias principales depende de la disposición embrionaria de las arterias junto a las aberturas branquiales, y la trompa de Eustaquio misma es una abertura branquial. Todos los mamíferos, presenten o no cola cuando ha terminado su desarrollo, la tienen en su estado embrionario.

Resulta así que es corriente en los animales el pasar por un estado en el que se asemejan a otros animales inferiores y poseer órganos que no tienen uso en ningún estado.

Los fósiles y su historia.

No es difícil encontrar restos de plantas y animales de edades pasadas; es tan frecuente recoger piedras que contienen fósiles, que casi todo el mundo ha visto alguno. Los que se encuentran con más abundancia son los restos de conchas, pero son también abundantes los fósiles de animales de todos los grandes grupos, excepto los de algunos, como los gusanos, que no tienen partes duras que se puedan conservar fácilmente; existen también hojas, tallos y raíces de plantas fósiles y hasta flores y frutos fósiles; hay, por consiguiente,

abundantes restos de plantas y animales que vivieron en tiempos antiquísimos. Estas formas antiguas son de especies diferentes de las que hoy existen y, por consiguiente, o las especies antiguas se han extinguido y han surgido después otras, o las especies más antiguas se han ido modificando gradualmente hasta convertirse en las de hoy.

Las rocas en las que se encuentran fósiles, como las areniscas, calizas y pizarras, se formaron como sedimentos en el agua, es decir, fueron primitivamente capas de arena, guijarros o limo, y después se consolidaron formando aquellas rocas. Los restos de plantas y animales quedaron enterrados en aquellos sedimentos, como ocurre actualmente en condiciones semejantes; cuando las capas sedimentarias se consolidaron formando dichas rocas, las plantas y los animales se fosilizaron (las pruebas de estas afirmaciones son abundantes y el lector puede hallarlas en los manuales de Geología). Es evidente, que las capas inferiores de las rocas sedimentarias y sus fósiles son más antiguos que los estratos superiores; lo cual nos da un medio de determinar la edad de los fósiles y de disponerlos así en series.

Se ha visto que en las rocas más inferiores en que se han encontrado pruebas de la vida, existen restos sólo de los grupos más inferiores de animales; en una edad algo posterior se depositaron rocas que están llenas de conchas de animales semejantes a las ostras y a las almejas; luego, en la serie, aparecen peces (los primeros vertebrados) que se convierten en el grupo dominante. Después vinieron gran número de reptiles que durante un cierto tiempo fueron los dueños del mundo; había reptiles en el mar, en la tierra y en el aire; algunos fueron de tal tamaño que quizás hayan sido los seres de mayor peso que han andado sobre la tierra; algunos reptiles voladores tenían mayor envergadura que ninguna de las aves que existen actualmente; se han desenterrado gran número

de esqueletos de estos reptiles extinguidos, que pueden verse en todos los grandes museos. Los últimos en hacer su aparición fueron los mamíferos, y al decrecer la importancia, tamaño y abundancia de los reptiles, aumentaron para los mamíferos. Algunos de los mamíferos extinguidos eran mayores que ninguno de los terrestres de la época actual; sus esqueletos también pueden estudiarse en los museos.

Vemos, pues, que los animales han aparecido sobre la tierra formando una serie de los más sencillos a los más complejos, e incluso es posible seguir las modificaciones graduales de algunos.

La historia del caballo.

La historia genealógica más completa y satisfactoria encontrada hasta ahora es la del caballo. Nos detendremos en señalar sólo un carácter —la estructura de la pata— en las diferentes especies que tienen parentesco con el caballo. En los estratos más antiguos en que se han encontrado sus antecesores, los fósiles del caballo primitivo (*Eohippus*) nos presentan un animal con cuatro dedos, cada uno con su casco, en las patas anteriores; uno de los dedos es mucho mayor que los otros. En estratos más modernos se encuentran fósiles (*Mesohippus*) en los que el dedo más externo está reducido a un hueso vestigial, en otra especie más moderna (*Miohippus*) este hueso vestigial y los dos dedos laterales son aún más reducidos. En *Protohippus*, los dedos laterales son tan reducidos que no llegan al suelo y probablemente no tenían uso; *el Pliohippus* anda sobre un dedo y su pie es prácticamente como el del caballo actual (*Equus*). La pata posterior ha tenido una historia semejante. Tenemos aquí, por consiguiente, una serie completa de formas que unen el caballo actual, de un solo dedo, con formas primitivas, de cuatro; y esto es precisamente lo que teníamos que esperar si el caballo ha descendido positivamente de tipos más

antiguos por modificaciones graduales.

Se han podido seguir historias genealógicas semejantes en otros animales así como también *en* plantas.

Distribución geográfica.

La masa principal de tierras del Globo es Eurasia. América del Norte está separada de Asia por el estrecho de Bering, por sólo unas millas de mar, y hay muchas pruebas de que en tiempos pasados los dos continentes estuvieron unidos tanto por lo que hoy es estrecho como por medio de un largo puente por las actuales islas Aleutas. La parte más septentrional de Eurasia y Norte América es, por tanto, prácticamente continua.

Desde esta gran masa septentrional de tierras se extienden hacia el Sur tres brazos: Sudamérica, Africa y Australia enlazado este último con la tierra firme de Asia por una cadena de islas. Europa, Asia y Norteamérica están aproximadamente en las mismas latitudes, tienen climas templados semejantes, y están —o han estado— unidas por puentes de tierras. Australia, Africa y Sudamérica están igualmente a las mismas latitudes y tienen climas tropicales o semitropicales parecidos; pero están muy distantes entre sí, sin tierras que las unan.

La distribución de animales y plantas en estos continentes es notable y peculiar. En las latitudes del Norte los animales del Mundo Antiguo y del Nuevo son semejantes o idénticos. El oso polar se encuentra en todas las regiones árticas; mas al sur hay osos de diferente especie en cada continente: el de Europa es diferente del de Norteamérica, pero no hay entre ellos más diferencia que entre las varias especies de América. Europa tiene reno, alce, ciervo, bisonte, lobos y zorros; y Norteamérica tiene especies respectivamente muy afines de reno (caribú), alce, ciervo, bisonte, lobos y zorros. En general las semejanzas son grandes y *las diferencias* pequeñas.

Si comparamos Sudamérica con Africa y Asia meridional se notan diferencias mayores. Un animal característico de Africa es el elefante y en la India existe otra especie de elefante, pero en América del Sur no se ha encontrado ninguna especie de este grupo. El rinoceronte y el hipopótamo no tienen animales afines en Sudamérica. El león y el tigre pertenecen sólo a Africa y Asia aun cuando animales parecidos al leopardo, tales como el jaguar y la puma se encuentran en Sudamérica; en América hay 400 especies de colibríes y no se encuentra ninguno en otra parte del mundo; el grupo que comprende los perezosos y hormigueros está casi enteramente limitado a Sudamérica; existen monos en los tres continentes, pero los de Sudamérica son muy diferentes de los de Africa y Asia. Vemos, pues, que los animales indígenas de continentes muy separados son por completo diferentes, aun cuando el clima y otras condiciones puedan ser semejantes. Lo mismo ocurre con las plantas.

Australia nos ofrece un ejemplo aún más llamativo. Está, evidentemente, más aislada que ningún continente. En un tiempo existió una unión, por tierra, con Asia; unión representada hoy día por islas que son, en realidad, las montañas de tierras sumergidas; pero este puente de tierras se sumergió hace ya mucho tiempo. Los animales indígenas de Australia son todos muy diferentes de los de cualquier otro continente. Los animales grandes de Australia pertenecen a los marsupiales, que es uno de los grupos inferiores de mamíferos, del que es un ejemplo el canguro. Los marsupiales en un tiempo abundaron en otros continentes, como lo prueban los fósiles, pero fueron suplantados gradualmente por mamíferos superiores, quedando casi extinguidos, excepto en Australia, El que la fauna australiana tenga este carácter tan peculiar se explica si se admite que ha habido modificación gradual de los animales en el transcurso del tiempo, y si suponemos que la unión de Australia con Asia se interrumpió después que Australia hubo recibido su población de marsupiales, pero antes de que se des-

arrollasen los mamíferos superiores.

La distribución de los animales en los otros continentes se explica de igual modo. El norte de América y el de Asia están tan poco separados que apenas ha habido ocasión para el desarrollo de tipos distintos y muy diferentes de animales. Sudamérica y África están completamente separadas por la barrera de agua del Océano Atlántico, y la unión terrestre por Norteamérica y Asia es tan inmensa y tiene climas tan fríos y variables que aquellas regiones quedan casi separadas por completo. Esta separación ha existido desde hace muchísimo tiempo, y así ha habido ocasión para que, en un continente, se formasen especies por herencia con modificación, de un modo totalmente independiente de lo que ocurría en el otro. Las migraciones de especies en cada continente han sido también en absoluto independientes.

Otras varias clases de pruebas, como las que resultan de la distribución de las plantas, de la fauna y flora de las islas oceánicas y de la distribución de las plantas árticas o de las que viven en las cumbres de las montañas, confirman la idea de la producción de las especies por modificación de las precedentes: no se ha propuesto otra teoría que explique satisfactoriamente los hechos conocidos y aquella es aceptada por cuantos han realizado un estudio cuidadoso de estos hechos.

Evolución.

La idea de que las plantas y los animales se pueden haber originado, gradual y sucesivamente, de los más sencillos a los más complicados, fué sostenida por algunos filósofos ya en tiempo de los griegos; Aristóteles en particular defendía esta idea, pero sin el extenso conocimiento que hoy tenemos de los hechos en que se funda; pero hasta el siglo XVIII no se prestó gran atención al origen de las especies de los seres vivos. Al final de aquel siglo muchos filósofos y biólogos llegaron al convencimiento de que la gran variedad de seres vivos había resultado del proceso ordinario

de herencia, junto con modificación gradual, y esto es lo que se conoce como *teoría de la evolución*. Como se han acumulado más hechos en favor de esta teoría, todos los hombres de ciencia y casi cuantos conocen bien las pruebas, se han hecho partidarios de la teoría de la evolución.

El modo como se efectúa la evolución.

Mientras que existe completa conformidad entre los biólogos en cuanto a la realidad de la evolución, no ha sido fácil descubrir cuáles son las causas de la evolución o los medios por que ésta se efectúa. Cualquiera que sea la disconformidad que exista entre los hombres de ciencia respecto a la evolución, se refiere a cuestiones relacionadas con los medios por los que la naturaleza ha efectuado la evolución de las especies, pero no a la realidad de la evolución misma. No sería aquí lugar de discutir detalladamente los factores que influyen en el método seguido por la evolución, pero a continuación presentaremos algunos de los más importantes.

Uso y desuso.

Hace poco más de un siglo que un naturalista francés, Lamarck, emitió la idea de que la evolución se puede explicar por la herencia de los caracteres adquiridos por el uso y por la pérdida de caracteres por el desuso. Fundándose en esto, el larguísimo cuello de la jirafa se debería a que las jirafas de cada generación han estirado el cuello en los esfuerzos para ramonear lo alto de los árboles, y a que el cuello, así hecho más largo, se habría heredado. Si esto fuese cierto, tendríamos que esperar igualmente que el vigoroso brazo derecho del herrero fuese heredado por su hijo, pero no vemos que esto último sea cierto. En realidad, toda la cuestión se reduce a la herencia de los caracteres adquiridos (pág. 138). En la época de Lamarck y durante bastante tiempo después, se creía universalmente que los caracteres adquiridos se hereda-

ban; pero actualmente estamos convencidos de que esto no es exacto y no encontramos prueba ninguna para la teoría de Lamarck.

Selección natural.

La segunda idea importante sobre el modo como se efectúa la evolución fué propuesta por Darwin, biólogo inglés, en 1859. Fué Darwin uno de los observadores más cuidadosos y críticos; aportó dos grandes contribuciones al estudio de la evolución. En primer lugar, recogió un número enorme de hechos referentes al origen de las especies y, con ellos por basen presentó los argumentos en pro y en contra de la evolución, de un modo magistral que aún no ha sido superado. En segundo lugar, para explicar el modo de efectuarse la evolución, propuso la *teoría de la selección natural*, que era la explicación más satisfactoria que se había propuesto.

Darwin creía que las fuerzas de la naturaleza ejercen una acción selectiva en la supervivencia de las plantas y animales silvestres algo parecida a la selección que hace el hombre en las crías para producir variedades nuevas. La mayor parte de los animales y plantas son destruidos, de un modo o de otro, antes de que lleguen a la reproducción; una rana, por ejemplo, pone varios centenares de huevos, de la mayor parte de los cuales llegan a salir las larvas, pero el número de ranas no aumenta mucho. Es evidente, que poquísimos renacuajos llegan a adultos; son destruidos por condiciones de clima, o por secarse las charcas, o por enemigos, enfermedad, falta de alimento u otras condiciones desfavorables. Entre los renacuajos y las ranas jóvenes existen variaciones como en todos los seres vivos y es probable que mueran primero los que sean menos resistentes a las condiciones desfavorables, menos rápidos en huir de los enemigos o menos activos en buscar los alimentos, y recíprocamente que vivan hasta alcanzar la edad adulta los mejor adaptados a las condiciones

de vida. Nótese que las variaciones de que estamos hablando son permanentes y congénitas, recibidas de los padres, y no variaciones adquiridas durante el curso de la vida del individuo; son, por consiguiente, hereditarias y tienen que pasar a las generaciones siguientes. De un proceso de selección natural, como el indicado, tiene que resultar la supervivencia de los más adecuados.

De igual modo se puede explicar la celeridad del ciervo o del antílope, la astucia del zorro, el pelaje blanco del oso polar y la degeneración de los insectos parásitos. El mimetismo y la semejanza protectora en los insectos, las «coloraciones alarmantes» y toda la larga lista de adaptaciones por medio de las cuales los animales y plantas están ajustados al medio en que viven, se han señalado como ejemplos de supervivencia de los más adecuados. Aun cuando todo esto se puede haber producido de aquel modo, queda el problema de si positivamente se produjo así.

La teoría de la selección natural se puede resumir como sigue:

1) Entre los numerosos individuos producidos en cada especie, ocurren muchas variaciones, unas más convenientes que otras en un medio.

2) La mayor parte de los individuos no llegan a la edad de reproducirse.

3) Los individuos cuyas variaciones son más adecuadas al medio, tienen más probabilidades de sobrevivir y dejar descendientes.

4) La especie tiende así a cambiar, posiblemente por más de un camino, en el sentido de una mayor adecuación al medio.

5) La misma especie, situada en dos sitios distintos con diferente medio, puede hacerse cada vez más adecuada a cada

sitio y convertirse de este modo en dos variedades y especies distintas aunque muy afines.

Los argumentos de Darwin en pro de la realidad de la evolución, nunca han sido atacados con éxito. Los hechos referentes a la cuestión son una contribución a la ciencia, de valor permanente, pues nadie discute la exactitud de sus observaciones: desde su tiempo, casi ningún biólogo, y pocas personas ilustradas que hayan estudiado las pruebas, discuten la realidad de la evolución. La explicación de Darwin, de cómo se efectúa la evolución (la selección natural), es una teoría, y tiene que ser demostrada o desechada por las pruebas referentes a ella. Aunque, al pronto, pareció explicarlo todo satisfactoriamente, cuando han aumentado nuestros conocimientos se ha pensado que no explica ciertas fases de la evolución. Apenas podemos dudar de que la evolución está siempre en actividad y produce resultados, aun cuando pueda haber otras influencias a las que se deban algunos de los efectos observados. La discusión, entre los hombres de ciencia, acerca del «darwinismo» no es sobre si la evolución ha ocurrido, sino sobre si la selección natural, por sí sola, es el método seguido por la evolución.

Mutación.

Según la teoría de la selección natural una nueva especie puede producirse sólo lentamente por acumulación gradual de pequeñas variaciones favorables; la producción de especies nuevas, exigiría por lo menos miles de años. Sin embargo, el botánico holandés Hugo de caries encontró que en la *Oenothera lamarckiana* ocurría a veces que se producía una planta diferente de las otras o de sus progenitores, que parecía ser una especie nueva; esto es, que se había formado un nuevo tipo en una sola generación, súbita y no gradualmente. En la actualidad se conocen muchos otros ejemplos de mu-

taciones en las plantas y animales, y algunos biólogos creen que de este modo se originan nuevas especies, aun cuando otros piensan que en estos casos las estirpes progenitoras son híbridas y que los mutantes son en realidad simplemente recesivos separados del híbrido.

Ya se deban considerarlos mutantes como nuevas especies o variedades, o simplemente como recesivos que se separan del híbrido, una vez que aparecen la selección natural tiene que actuar sobre ellos. La teoría de las mutaciones no se opone, por consiguiente, a la teoría de la selección natural; es más bien una adición a ésta; la selección natural tendría que decidir si un mutante dado puede sobrevivir o tiene que extinguirse.

CAPÍTULO XVI

BIOLOGÍA DEL HOMBRE

El hombre antiguo y sus utensilios.

Entre las pruebas de la existencia pasada de la mayor parte de los animales, no tenemos apenas otra cosa para juzgar de sus costumbres y género de vida, que los restos de sus cuerpos. A veces se encuentran esqueletos de hombres antiguos, pero sus utensilios son mucho más frecuentes que sus huesos. Los utensilios usados por el hombre son de especial interés, pues por ellos podemos formar una idea de sus costumbres, su habilidad y el estado de su progreso en la civilización:

La edad presente podemos llamarla de los Metales y, especialmente, del Hierro, pues este metal es la base de la mayor parte de nuestras herramientas. Sin embargo el hierro no fué el primer

metal utilizado comúnmente; se sabe que el cobre era usado unos 4000 años antes de JC. Probablemente los hombres aprendieron a usar el cobre antes que el hierro, porque el cobre se encuentra nativo —es decir, no combinado con otras sustancias— en más lugares. Los hombres primitivos necesitaron sólo procurarse pedazos de cobre nativo y martillar las piezas, dándoles la forma deseada, para tener armas y otros utensilios útiles.

El estaño es otro metal descubierto y usado muy antiguamente. No tiene la dureza suficiente para ser de mucho uso por sí sólo, pero los hombres muy antiguos descubrieron que, fundido junto con el cobre, la aleación resultante es mucho más resistente que ambos: así empezó la Edad del Bronce. Hacia 1500 antes de J. C. empezó el bronce a ser suplantado por el hierro.

Antes del descubrimiento del uso de los metales se hacían armas y utensilios de hueso o de piedra, y los de esta última clase sobre todo han llegado hasta nosotros. Probablemente los primeros utensilios de piedra eran como las piedras que se pueden coger para un uso accidental y se abandonan cuando la necesidad del momento ha pasado. Pronto empezaron los hombres a romper las piedras y tallarlas, dándoles formas más útiles. Estos objetos de piedra tallada que se encuentran en las capas inferiores tienen forma muy tosca e imperfecta, pero en yacimientos posteriores muestran una mano de obra muy hábil. Los hombres más modernos aprendieron a dar forma a sus utensilios pulimentándolos, y los terminaban frecuentemente de un modo precioso; estos utensilios representan el máximo progreso en el trabajo de la piedra; a ellos siguieron los de metal. Los hombres que usaron utensilios de piedra tallada se llaman *paleolíticos*, y los que usaron los de piedra pulimentada se llaman *neolíticos*.

Los indígenas de Norteamérica y Sudamérica, cuando se descubrieron estos continentes, tenían una civilización que correspondía principalmente a la Edad de Piedra, aun cuando había empezado el uso de metales (cobre y oro). Muchos salvajes actua-

les, como los de Nueva Guinea y de Australia, están en la Edad de Piedra, salvo donde han obtenido utensilios de hierro, de los pueblos adelantados; su civilización es probablemente muy parecida a la de nuestros propios antepasados cuando se hallaban en el Neolítico o Paleolítico. En los pueblos que dieron origen a las naciones civilizadas de hoy, el uso del bronce había sustituido al de la Piedra al comienzo de la Historia. La terminación del Neolítico en el Asia Occidental se puede situar aproximadamente hacia el 3000 ó 4000 antes de J. C., pero hay pruebas que sitúan su comienzo nada menos que hace 30 000 años. En Europa hubo hombres neolíticos poco después de la terminación del período glaciario.

Los pueblos neolíticos cultivaban la tierra, tenían animales domésticos, construían viviendas permanentes y bien planeadas, y enterraban sus muertos de modos que indicaban creencias religiosas; parecen haber sido de la misma raza que el pueblo de la Edad del Bronce que puso los cimientos de la civilización y de la organización nacional.

Los hombres paleolíticos vivieron en Europa durante la época glaciario y a su terminación. Es posible que existiesen antes de esta época, pero de esto no quedan pruebas satisfactorias. Existieron varios tipos de hombres paleolíticos, pero no se sabe si eran próximos parientes entre sí y de los hombres modernos. De alguno de estos tipos nos ocuparemos a continuación.

El hombre de las cavernas.

Al final del tiempo paleolítico, Europa estaba habitada por hombres que vivían en cuevas. Es posible que construyesen también habitaciones al aire libre; pero, si fué así, estas débiles viviendas han desaparecido por completo. En las cuevas dejaron sus armas, utensilios y otras pruebas de haberlas ocupado, junto con los huesos de los animales que cazaron para alimento o que mataron en lucha por la posesión de las cavernas. Pero lo más importante de todo es que pintaron en las paredes de las cuevas y graba-

ron en huesos figuras de los animales que conocieron. La mayor parte de los animales cuyas figuras o huesos se han encontrado en las cuevas, pertenecen a especies extinguidas desde hace mucho tiempo, como el mamut, el rinoceronte lanudo y el oso, la hiena y el león de las cavernas.

Los esqueletos de los hombres de las cavernas muestran que fueron un pueblo con cráneo grande, frente alta, porte erecto y de estatura más bien algo mayor del promedio; físicamente se parecían mucho a nosotros. Vivían principalmente de la caza. Enterraban sus muertos con un cuidado que indica la creencia en una vida futura. Su cultura general era probablemente algo comparable a la de los esquimales de hoy, su característica más notable era la habilidad artística manifestada en las figuras que hacían; su obra artística es de gran valor, aun juzgada con el criterio moderno.

A hombre de las cavernas se le llama frecuentemente raza de Cro-Magnon, por el lugar de Francia donde se han encontrado muchos restos. Se cree que algunos habitantes de Europa son descendientes directos de esta raza y es probable que en alguna medida se entremezclasen con los habitantes posteriores.

El hombre de Neanderthal.

En muchas partes de Europa se han encontrado restos de otro tipo más antiguo de hombre paleolítico, llamado raza de Neanderthal. Estos hombres eran bajos, inclinados hacia adelante, tenían cerebro grande, pero sobre las órbitas presentaban un saliente marcado y continuo; la mandíbula era gruesa y no tenían mentón bien desarrollado. Toda su expresión era decididamente como de animal, y varios caracteres como el saliente supereorbitario eran simioides; pero, al mismo tiempo, eran hábiles trabajadores del sílex, conocían el uso del fuego y enterraban reverentemente a sus muertos.

Se ignora si son antepasados directos del hombre moderno,

aunque la mayoría de los especialistas creen que debieron ser una rama lateral de la Humanidad, que se extinguió hacia el tiempo en que apareció en Europa el hombre de las cavernas.

Otros hombres primitivos.

Cuanto más antiguos, los restos encontrados son menos abundantes y están, en general, peor conservados. El hombre de la raza de Heidelberg tenía la mandíbula inferior robusta con poco más mentón que el gorila, los dientes eran claramente humanos, pero la forma de la mandíbula, en relación con la inserción de los músculos de la lengua y espacio para la lengua misma, es tal que sólo hubo de ser posible un lenguaje rudimentario. Análogos a estos restos en varios puntos son los de antigüedad semejante descubiertos en Inglaterra (hombre de Piltdown).

En Java se han hallado restos humanos incompletos que indican una raza más primitiva que ninguna de las descritas. El hombre de Java tenía el cerebro poco desarrollado, pero se mantenía erguido a la manera humana; se duda de si tenía lenguaje. Sus restos estaban asociados a los de más de veinte especies de mamíferos extinguidos, lo que prueba su inmensa antigüedad.

Las hazañas del hombre primitivo.

Todas las pruebas indican que los hombres del Paleolítico eran bárbaros o salvajes. A lo sumo alcanzaron un nivel de civilización semejante al de los pueblos en la Edad de Piedra que viven en la actualidad, o se han extinguido recientemente, como ciertos australianos, los naturales del interior de Nueva Guinea, los bosquimanos de Africa o los indios de Norteamérica menos adelantados; y sin embargo, debemos tanto a ellos y a su lenta lucha para elevarse saliendo de las tinieblas, que hemos de sentir por ellos la máxima admiración.

El hombre de la Edad de Piedra fué quien descubrió el uso y

manejo del fuego que es quizá la mayor proeza de la humanidad; inventó armas y otros utensilios; desarrolló el lenguaje desde su primer imperfecto comienzo hasta llevarlo a un estado de maravilloso medio de comunicación; inició el arte de la representación pictórica y algunos comienzos de la escritura; inició el cultivo de plantas y la cría de animales domésticos; desarrolló la familia, que es la más fundamental de las instituciones sociales humanas y llegó hasta algún género de ideales morales y religiosos. Nada de lo realizado en los tiempos históricos es mayor que estas hazañas de nuestros antepasados y parientes prehistóricos.

El hombre y los animales inferiores.

La evidente semejanza entre el hombre y los monos superiores (chimpancé, gorila y orangután) ha suscitado la cuestión de su parentesco real. Estos animales de aspecto humano se caracterizan por su actitud parcialmente erguida, sus extremidades posteriores algo parecidas a manos y escasamente adaptadas a andar sobre el suelo, y por su cabeza inclinada hacia adelante. Sus mandíbulas son fuertes, prominentes y sin mentón, la frente es baja y desviada hacia atrás, el saliente supraorbitario es marcado y la capacidad del cráneo no es mayor de la mitad de la del hombre. Se dice que la mentalidad de un mono no excede a la de un niño de uno a dos años,

Se observará que, en los caracteres físicos, las diferencias entre los monos y los hombres son sólo, de grado; las semejanzas son muchas y notorias; además, los hombres más antiguos poseyeron caracteres mucho más simioides que el hombre actual.

Hueso por hueso y músculo por músculo, los cuerpos de los monos y de los hombres están hechos según el mismo plan; los embriones se desarrollan del mismo modo y en los primeros estados serían prácticamente indistinguibles. El cuerpo del hombre está lleno de órganos vestigiales, como los músculos del movimiento de las orejas, los músculos erectores del pelo y multitud de

otros. Incluso la cola se presenta en el embrión humano y ocasionalmente en el adulto., Existen ciertos reactivos bioquímicos usados para distinguir la sangre de una especie de la de otra, que son de gran delicadeza y exactitud, y estos reactivos muestran el estrecho parentesco entre la sangre del hombre y la de los monos.

El hombre se diferencia de los monos, no tanto por la estructura general del cuerpo, como por su cerebro mucho mayor.

Mentalmente, la laguna entre el hombre y los monos es inmensa. En este respecto la diferencia entre los monos superiores y el hombre más primitivo es tan grande que es difícil la comparación. La inteligencia es el carácter distintivo humano; las cualidades mentales del hombre justifican la idea de que el hombre constituye un nuevo punto de partida en el desarrollo gradual del plan predestinado de la naturaleza».

Genealogía del hombre.

Los hechos que se han consignado y otros muchos han movido a los más serios especialistas de la historia primitiva del hombre a creer que éste y los monos están emparentados positivamente por evolución. No es que se crea que el hombre haya descendido—o, mejor, ascendido—de ningún tipo extinguido de mono; más bien se piensa que si pudiésemos encontrar fósiles que nos permitiesen seguir la genealogía de hombres y monos hasta un pasado remotísimo, encontraríamos que unos y otros surgieron de un antepasado común.

El verdadero problema.

El verdadero problema no está en lo pasado, sino en lo futuro. Cualquiera que sea nuestro linaje, estamos aquí. La labor de cada generación es transmitir a la siguiente lo que recibió del pasado y añadir a esta tradición, por lo menos una pequeña contribución al progreso. Esta tradición de conocimientos que representa el lento

progreso ascendente de la raza no es hereditaria biológicamente hablando; tiene que ser adquirida de nuevo por cada generación y, por consiguiente, la educación es fundamental para la sociedad. Si la educación de toda clase cesase, aunque sólo fuese durante una generación, nos encontraríamos otra vez muy atrás en los primeros estados de la civilización. La genealogía de la raza o de los individuos importa mucho menos que su destino; pero el proseguir en estas ideas nos llevaría fuera del campo que ordinariamente se le reconoce a la Biología, aunque continuásemos todavía dentro de sus más amplios dominios.



INDICE

PARTE PRIMERA

ADAPTACIÓN AL MEDIO

Págs.

I. Organismos y medio	004
II. Adaptación y cooperación	017
III. Crecimiento, desarrollo y hormonas	018
IV. De cuando se frustra la adaptación de los organismos	039

PARTE SEGUNDA

EL MECANISMO DE LA REACCIÓN

V. Estímulo y reacción	058
VI. Neuronas, reflejos e instintos	067
VII. El sistema nervioso de los vertebrados	080
VIII. El encéfalo y la mente del hombre	094
IX. Ventanas que dan al mundo	107
X. La vista, el rey de los sentidos	119

PARTE TERCERA

HERENCIA Y EVOLUCIÓN DE LOS ORGANISMOS

XI. La base de la herencia	133
XII. Herencia y variación	149
XIII. Leyes de Mendel.	158
XIV. Naturaleza y medio en la herencia humana	180
XV. La evolución de los seres vivos	193
XVI. Biología del hombre	209

BIBLIOTECA PEDAGÓGICA

PUBLICACIONES
DE LA REVISTA DE PEDAGOGÍA

PRECIO: 8 PESETAS.

