

del protoplasma, pero conocen algunos hechos generales. Creen que se compone de dos substancias distintas y que hay en él un material algo sólido que generalmente lo penetra, y que se describe, ya como un tejido de mallas, ya como una masa de filamentos ó hilos y fibras, ya como una masa de espuma (Fig. 23, *a*). Es en extremo deli-

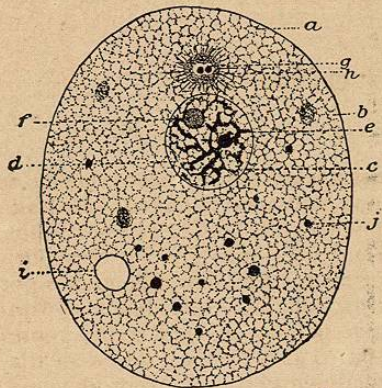


FIG. 23.—Célula tal como se ve con los modernos microscopios. *a*, red protoplasmática; *b*, líquido en sus mallas; *c*, membrana nuclear; *d*, red nuclear; *e*, red de cromatina; *f*, nucleolo; *h*, centrosfero; *i*, vacío; *j*, cuerpos inertes.

transparente á cuya presencia debe el protoplasma su líquido característico (Fig. 23, *b*). No se ha podido determinar la estructura de este líquido que, á juzgar por lo que de él se sabe, es homogéneo. Observando más aún se encuentran otras complejidades. Parece que en el material fibroso se nota siempre la presencia de cuerpos en extremo pequeños que han recibido varios nombres

ca, y visible sólo en circunstancias especiales y mediante muy buenos microscopios. No queda duda de que una substancia fina y delicada que puede afectar la forma de hilos, fibras ú otras, penetra al protoplasma cuando está vivo. Dentro de las mallas de este hilo ó red se encuentra un líquido muy claro y

y llamaremos *microsomos*. Algunas veces estas fibras se asemejan á sartas de cuentas, de tal manera que se han descrito como hileras de elementos diminutos. No tiene importancia de momento que estas fibras se consideren ó no como microsomos: lo que es seguro, que éstos existen en el protoplasma y están íntimamente relacionados con las fibras (Fig. 23, *a*).

CAPÍTULO V

EL NÚCLEO Y DIVISIÓN DE LA CÉLULA

I. **Presencia del núcleo.**—Si el protoplasma se presentó como una substancia nueva, resultado de los descubrimientos de estos últimos años, mucho más sorprendentes han sido los descubrimientos hechos respecto al núcleo reconocido por los primeros microscopistas, y que desde el principio de la doctrina celular se miraba frecuentemente como la parte más activa de la célula, relacionada especialmente con su reproducción. Sin embargo, la teoría del protoplasma subyugó de modo tal la inteligencia de los biólogos, que durante buen número de años el núcleo pasó desapercibido, á lo menos en lo concerniente á la naturaleza de la vida. Era un cuerpo cuya presencia en la célula no se explicaba y que no tenía conexión con las ideas generales relativas al protoplasma como base física de la vida. Los biólogos le concedían poca atención y hablaban de él como de un simple fragmento de protoplasma, más denso que el resto. La célula era una partícula ó un trozo de protoplasma con una parte más densa, quizá la más activa de todas.

Resultado de la exagerada creencia en la eficacia del protoplasma, el núcleo tuvo poca importancia relativa. Había células que tenían núcleos y otras que carecían de ellos, por lo que los microscopistas creyeron que no eran indispensables para constituirlos. Un naturalista alemán observó entre los animales inferiores un grupo en el que sus células no tenían núcleo y que denominó *monera*. El adelanto en el estudio de las células

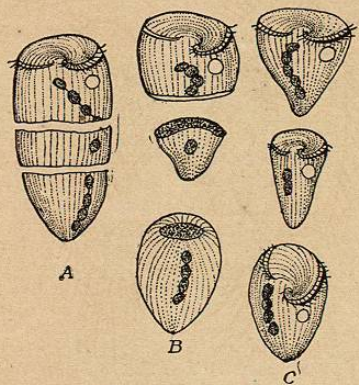


FIG. 24.—Célula cortada en tres fragmentos conteniendo cada uno un trozo de núcleo. Todas continúan su vida indefinidamente adquiriendo pronto la forma de la célula original como en C.

enseñó a los microscopistas a distinguir la presencia del núcleo, y poco á poco se fué encontrando éste en células en que no se había percibido. Examinando unos después de otros los animales y plantas en que se decía faltaba el núcleo, se halló en todos ellos, hasta que se llegó á la conclusión de que es parte fundamental de la célula activa. Acaso las células viejas que han perdido su actividad no lo posean; pero todas las activas lo poseen y sin él ninguna puede desplegar su actividad. Unas tienen varios núcleos y en otras la substancia nuclear está esparcida en toda la célula en vez de formar una masa aislada. Sea como quiera, el núcleo es indispensable para la vida de la célula.

Más tarde se hizo el experimento de privar á las células de sus núcleos, lo que aumentó la importancia de éstos. Entre los animales unicelulares, hay unos lo bastante grandes para manipularlos directamente, y se vió que si sus células se fraccionaban, los diversos fragmentos se conducían de un modo muy diferente según contuvieran ó no un trozo de núcleo. Todos los fragmentos pueden conservar durante algún tiempo sus actividades vitales sosteniéndolas perfectamente los que encierran todo ó parte de la célula primitiva. En la

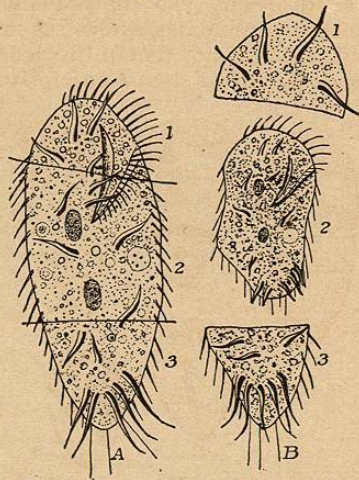


FIG. 25.—Célula cortada en tres piezas conteniendo núcleo sólo el No. 2. Este fragmento pronto adquiere la forma primitiva y continúa viviendo definitivamente, como se ve en B. Las otras dos piezas, aun cuando viven algún tiempo, mueren sin reproducirse.

Fig. 24 se representa una célula dividida en tres fracciones, cada una con un fragmento de núcleo. Todas llevan en sí actividades vitales, crecen, se alimentan y se multiplican persistiendo en ellas la vida cual si nada les hubiera sucedido. Lo contrario acontece con los fragmentos desprovistos de núcleo (Fig. 25). Estos fragmentos (1 y 3) aun cuando

masas comparativamente grandes de protoplasma, no pueden seguir desempeñando sus funciones vitales. Durante algún tiempo se mueven como los otros; pero no pudiendo asimilar alimentos ni reproducirse, mueren pronto. Estos hechos demuestran la vital importancia del núcleo en la actividad celular, así como que la célula debe considerarse cual una combinación del protoplasma y el núcleo, sin los que no puede existir. No es el protoplasma, sino la substancia celular y el núcleo los que constituyen la base más simple de la vida.

Estudiando más atentamente la célula y el protoplasma se adquirió la convicción de que había una más marcada diferencia entre él y el núcleo. No es cierta la antigua afirmación de que el núcleo sea sólo un trozo de protoplasma denso: en su composición física y química, así como en sus actividades, difieren uno de otro. El núcleo contiene algunos cuerpos definidos que no se hallan en la substancia celular y posee una serie de actividades que no existen en el protoplasma que le rodea, siendo sus relaciones con la vida de la célula únicas y maravillosas. Estos hechos llevaron á un período en la discusión de los temas biológicos, que sin faltar á la propiedad, puede llamarse el *imperio del núcleo*. Veamos su estructura que tanto ha llamado la atención en los últimos años.

2. **Estructura del núcleo.**—El aspecto del núcleo en su principio es muy parecido al de la substancia celular. Como ésta, se compone de fibras que forman un retículo ó redcilla (Fig. 23), fibras que cual las del protoplasma, tienen microsomas en continua conexión con ellas y un líquido claro entre sus mallas. Las de la red son más estrechas que las de la substancia celular; pero su carácter

general es el mismo. Sin embargo, un estudio detenido del núcleo revela grandes diferencias: en primer lugar, lo separa de la substancia celular una membrana (Fig. 23, *c*) que generalmente persiste, si bien algunas veces desaparece al dividirse el núcleo. En su interior se ven comúnmente uno ó dos corpúsculos pequeños, los nucleolos, (Fig. 23, *f*) que son partes vitales distintas y que difieren de otros cuerpos sólidos, que no son más que material agregado y, por tanto, sin vida. Además, se observa que el retículo en su interior consta de dos partes: una idéntica á la redcilla de la substancia celular (Fig. 23, *d*) que forma una red delicada cuyas fibras tienen relaciones químicas semejantes á las de la substancia celular. Nótese en ocasiones que estas fibras pasan directamente á las de las mallas de la substancia celular, y de aquí que sean idénticas probablemente. Esta materia se llama *linín*. Existe también en el núcleo otro material que forma hilos, mallas ó una masa de gránulos que difiere mucho del linín y cuyas propiedades son muy diversas. Esta red absorbe con mucha actividad ciertos colores, apareciendo, por tanto, coloreada cuando se ve en el estado en que los microscopistas preparan comúnmente sus ejemplares. Por esta razón se ha denominado cromatina (Fig. 23, *e*) recibiendo después varios nombres. Es la más notable de todas las partes de la célula y ofrece mucha variedad en las diversas clases de ella; mas siempre con propiedades fisiológicas peculiares. Considerándola bien, la cromatina es quizá el cuerpo más importante relacionado con la vida orgánica.

Los núcleos de todos los animales y plantas manifiestan los caracteres ya descritos. Contienen un líquido, mallas de linín é hilos ó mallas de

cromatina; pero son tan distintos en sus detalles, que su variedad es innumerable (Fig. 26). Se distinguen primero en su tamaño con relación al de la célula: algunas veces, especialmente en las células jóvenes, el núcleo es muy grande, y otras es muy pequeño. En las que han perdido su vitalidad desaparece total ó parcialmente. En segundo lugar, difieren en su forma: la típica es esférica ó casi esférica, pero puede hacerse irregular ó prolongada. Unas veces se presentan en masas largas

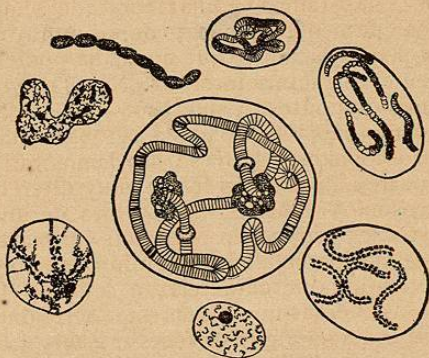


FIG. 26.—Diferentes f6rmas de núcleos.

como una sarta de cuentas (Fig. 24), ó semejantes á gusanillos enroscados (Fig. 21) y otras se subdividen como las ramillas de un árbol. Las formas de la cromatina son muy variadas: ya aparece como un mero retículo, ya como un hilo corto enrollado en ocasiones (Fig. 26), mientras que en otras células el hilo es sumamente largo, muy torcido y entrelazado, y enredado por modo tal que afecta la forma de un diminuto tejido de mallas. Asimismo difieren los núcleos en su número de

nucleolos y en otros caracteres menos importantes. La Fig. 26 da una ligera idea de las diversas clases de núcleos, cuya estructura esencial tiene mucha analogía á pesar de esta variedad en las formas.

3. **Centrosomo.**—Antes de tratar de las actividades del núcleo preciso es decir algo de una tercera parte de la célula que en estos últimos años se ha encontrado en gran número de ellas y que ha recibido el nombre de *centrosomo* (Fig. 23, g). Está en la substancia celular fuera del núcleo, y ofrece comúnmente el aspecto de un punto redondo muy pequeño, tanto que no se ha podido descubrir en él estructura interna. No es mayor que los granos diminutos de microsomo, y hasta hace poco tiempo había escapado á la observación de los microscopistas. Hoy se ha demostrado que es una parte activa de la célula muy diferente de los microsomos comunes. Se colora de una manera distinta y parece en conexión íntima con el centro de la vida celular figurando á la cabeza de las actividades que caracterizan á éstas. De él emanan las fuerzas que rigen esta actividad, por lo que se le llama algunas veces *el centro dindmico de la célula*. Esto lleva al estudio de la actividad celular que nos revela los fenómenos más extraordinarios que se han ofrecido á la ciencia.

4. **Función del núcleo.**—Para comprender por qué el núcleo ha llegado á tan prominente lugar en la moderna biología, bastará hacer notar algunas de las actividades de la célula. De las cuatro propiedades fundamentales de la vida de ésta, la más estudiada es la relativa á la reproducción, que debe considerarse desde dos aspectos: el de la *división celular* y el de la *fertilización del óvulo*. En todos los seres orgánicos empieza la vida por una

célula simple, y su crecimiento en el adulto es debido á la división de la célula primitiva en fracciones, acompañada de una diferenciación de esas fracciones. El fenómeno fundamental de la reproducción y el crecimiento es la división celular, y si podemos comprender este proceso en las células simples, habremos dado un gran paso hacia la explicación del mecanismo de la vida. En los últimos años del siglo XIX se ha estudiado perfectamente esta división y se ha llegado á conocer bien en cuanto se refiere á sus caracteres microscópicos. La siguiente descripción hará comprender los hechos generales de esta división y podrá aplicarse á todos los casos, aunque difieran no poco en sus detalles.

5. **División celular ó caryoquinesis.**—Empezaremos por una célula en lo que se llama estado de reposo (Fig. 23). Tiene un núcleo, con su cromatina, su linín y su membrana: fuera del núcleo está el centrosomo ó, lo que es más común, hay dos centrosomos muy unidos. Si hubiere uno solo pronto se divide en dos; y si desde luego hubiere dos se debe á que el único que la célula poseía primitivamente se ha dividido. Esta célula es, por tanto, igual á la ya descrita, excepto en que posee dos centrosomos. Las fibras de cromatina son las que primero indican la división de la célula. En el período de reposo, la cromatina puede tener la forma de un hilo ó la de una red de fibras (Fig. 27). Sea cualquiera su forma durante ese período, toma la de un hilo tan luego como la célula se dispone á dividirse, hilo que se fracciona casi inmediatamente en cierto número de piezas llamadas cromosomos (Fig. 28). Es un hecho muy importante que el número de estos cromosomos en las células ordinarias de cualquier animal

ó planta, es siempre el mismo. En todas las células del reino orgánico la cromatina se rompe en el núcleo, en el momento en que se preparan á dividirse, en el mismo número de hilos cortos que es siempre igual en los animales de la misma especie.

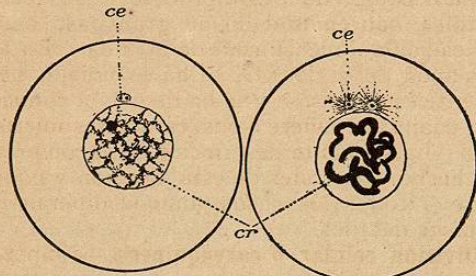


FIG. 27.

FIG. 28.

FIG. 27.—Esta figura y la siguiente demuestran períodos en la división celular. La 27 representa el período de reposo con la cromatina, *cr*, en la forma de una redcilla dentro de la membrana nuclear y el centrosomo, *ce*, dividido en dos.

FIG. 28.—La cromatina rota dentro de los hilos ó cromosomos, *cr*. El centrosomo manifiesta fibras radiantes.

Por ejemplo, en el buey, los fragmentos son diez y seis mientras que en el lirio son veinte y cuatro. Durante este proceso de formación de los cromosomos desaparece el nucleolo absorbido aparentemente, unas veces en los cromosomos, otras en el interior de las células. Ignórase aún si ésto tiene alguna influencia en los cambios futuros.

El fenómeno que sigue en el proceso de división ocurre en los centrosomos. Cada uno de ellos envía delicadas fibras radiantes á la substancia celular que les rodea (Fig. 28). No está averiguado si éstas nacen realmente del centrosomo ó si son sólo una disposición nueva de la

substancia celular; pero ello es, que el centrosomó se rodea de una estrella ó más comúnmente de una estrella doble, puesto que se unen dos centrosomos (Fig. 28). Estas fibras radiantes, nazcan ó no de los centrosomos, tienen todas su centro en estos cuerpos, lo que indica que los centrosomos poseen las fuerzas que regulan su aparición. Entre las dos estrellas hay un juego de fibras que van de una á otra (Fig. 29). Ambas y los centrosomos que están en su interior se han considerado como el centro dinámico de la célula, porque al parecer rigen las fuerzas que dan origen á la división celular. En todos los cambios consecutivos, estas estrellas figuran siempre á la cabeza y con sus centrosomos se alejan una de otra en conexión

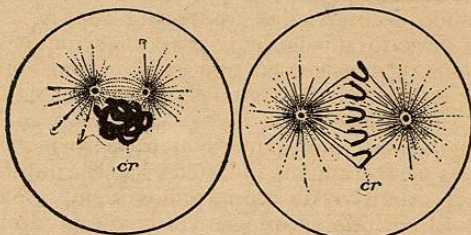


FIG. 29.

FIG. 30.

FIG. 29.—Centrosomos separados, pero en conexión por medio de fibras.

FIG. 30.—Los centrosomos están separados y el plano ecuatorial de cromosomos, *cr*, está entre ellos.

siempre por las fibras fusiformes, hasta que se adhieren al fin á los lados opuestos del núcleo (Figs. 29, 30), rodeadas todavía por las fibras radiantes y conectadas por las fusiformes. En ese intervalo ha desaparecido la membrana que rodea el núcleo, y de esta manera las fibras fu-

siformes penetran en la substancia nuclear (Fig. 30).

Entretanto, los cromosomos han cambiado de posición. No se sabe si este cambio es debido á sus propias fuerzas, si son movidos pasivamente por otras que residen en la substancia celular, ó si, lo que es más probable, son empujados por las fibras fusiformes al penetrar en el núcleo, lo que no ofrece importancia de momento. El resultado es que las estrellas han ocupado su posición en los polos opuestos del núcleo y los cromosomos se han colocado en un plano que pasa á través del núcleo á igual distancia de cada estrella, probablemente empujados ó atraídos por fuerzas que emanan de los centrosomos. La Fig. 30 demuestra esta disposición central de los cromosomos formando lo que se llama el *plano ecuatorial*.

El período subsiguiente es el más importante de todos, y consiste en que cada cromosomo se divide en dos mitades iguales. Los hilos *no se dividen por su parte media, sino que se hienden en sentido longitudinal*, por manera que se forman dos mitades perfectamente idénticas. Así se duplica el número primitivo de cromosomos siempre pareados. El período en que se verifica esta división no es el mismo en todas las células. Puede ocurrir, como ya se ha dicho, cuando las estrellas han llegado á los polos opuestos del núcleo y se ha formado un plano ecuatorial. Sin embargo, no deja de ser frecuente que se realice mucho antes, estando ya los cromosomos divididos cuando van á dicho plano.

La importancia de la división de los cromosomos es muy digna de tomarse en consideración. Pronto se expondrán razones en apoyo de que los cromosomos contienen todos los caracteres heredi-

tarios que las células transmiten de generación en generación, y ciertamente los cromosomos del óvulo poseen todos los que el padre transmite á sus descendientes. Ahora bien: si el hilo de cromatina consiste en una serie de unidades cada una de las cuales representa ciertos caracteres hereditarios, claro es que la división del hilo dará origen á una doble serie de hilos iguales todos. Si se verificara á través del hilo, las dos partes serían desiguales; pero haciéndose en sentido longitudinal, esta unidad se divide en el hilo exactamente por la mitad, resultando medio hilo que contiene el mismo número de unidades similares que el otro medio é igual al que poseía el microsomo primitivo. Estas divisiones duplican la cifra de cromosomos sin ocasionar diferenciación en el material.

Otro hecho de la división celular consiste en la separación de las dos mitades de los cromoso-

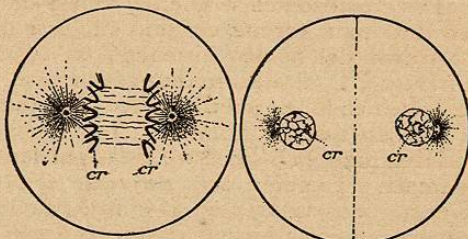


FIG. 31.

FIG. 32.

FIG. 31.—Las dos mitades del cromosomo separadas una de otra.
FIG. 32.—Período final con dos núcleos en el que los cromosomos han tomado la forma de una red. Los centrosomos se han dividido previamente para la próxima división, y la célula comienza á dividirse.

mos. Cada una se separa de su compañera y se dirige al lado opuesto del núcleo hacia los dos extremos (Fig. 31). No se sabe con certeza si

son atraídos ó impulsados separadamente por las fibras fusiformes, si bien parece seguro que ellas son las encargadas de esta tarea. Lo que sucede es, que una fuerza desplegada por los centrosomos obra sobre los cromosomos y obliga á las dos mitades de cada uno á alojarse en los extremos opuestos del núcleo donde se reúnen y forman dos *nuevos núcleos* con el mismo número de cromosomos que el primitivo y con caracteres idénticos á él.

El resto de la división celular sigue efectuándose con rapidez. Se va formando una separación á través del cuerpo de la célula que la divide en dos partes (Fig. 32) pasando la división por la mitad del huso. En esta división, en algunos casos á lo menos, toman parte las fibras fusiformes, lo que demuestra una vez más la importancia de los centrosomos y las fuerzas que de ellos emanan. Los cromosomos se unen entonces en cada núcleo hijo para formar un solo hilo ó se difunden á través del núcleo formando un tejido de mallas (Fig. 32). Rodéanse después de una membrana, ofreciendo el nuevo núcleo exactamente igual aspecto que el primitivo. Las fibras fusiformes desaparecen y las estrelladas pueden ó no desaparecer. También deja de verse el centrosomo en algunos casos, pero es lo más común que permanezca junto á los núcleos hijos ó que vaya al interior del núcleo. Por último se divide en dos, lo que se realiza inmediatamente unas veces, otras cuando comienza la primera división de la célula. El resultado manifiesta dos células cada una con un núcleo y dos centrosomos, que es precisamente la estructura con que dió principio el proceso de división.

Considerado éste en totalidad puede resumirse

en los siguientes términos: El objeto esencial del complicadísimo fenómeno de la división consiste en dividir la cromatina en dos mitades equivalentes, por manera tal, que las células que resulten de la división contengan una cantidad exactamente igual de cromatina. Para ese objeto los elementos cromáticos se reúnen en hilos y se abren longitudinalmente, y el centrosomo con sus fibras efectúa la separación de ambas mitades. Debe concluirse, por tanto, que la cromatina es un factor de gran importancia en la célula, y el centrosomo parte de un mecanismo que dirige su división y regula la de la célula.

6. **Fertilización del óvulo.**—Esta descripción de la división de la célula dará alguna idea de la complejidad de la vida celular; pero es aún más admirable la serie de cambios que se realizan interin se está preparando el óvulo para su desarrollo. Toda vez que este proceso ha de ilustrar más la naturaleza de la célula y de aclarar el problema fundamental de la herencia, preciso es dedicarle algunas líneas.

La reproducción sexual de los animales multicelulares es igual siempre. Una sola de las células se separa para servir de núcleo a la próxima generación, y después comienza a dividirse (Fig. 8), produciendo el nuevo individuo las muchas células que de ella nacen. Esta célula reproductora es el óvulo. Pero antes que empiece la división se realiza un proceso llamado *fertilización*, cuya misión esencial es unir una célula con otra, generalmente de individuos de diverso sexo. He aquí los caracteres esenciales de este fenómeno, sujetos á detalles muy varios:

La célula reproductora hembra es á la que se da el nombre de óvulo y la que se divide para

formar la nueva generación. Como las demás (Fig. 33), tiene pared celular, substancia celular con su linfa y partes fluidas, un núcleo rodeado por una membrana y que encierra un retículo, substancia cromática y, por último, un centrosomo. Como se ve, este óvulo es una célula completa, pero no está en disposición de comenzar el proceso que ha de dar origen á un nuevo individuo hasta que no se una con otra célula distinta y procedente casi siempre de un individuo de diferente sexo, la que se llama célula macho. Cuando se desprende el óvulo de la hembra, no se halla todavía en condiciones de unirse á la célula macho, sino que ha de atravesar antes por una serie de cambios muy notables que constituyen la *maduración del óvulo*, fenómeno tan íntimamente relacionado con

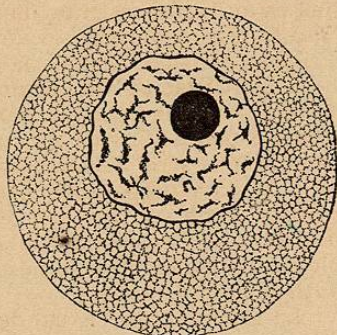


FIG. 33.—Óvulo que muestra la substancia celular y el núcleo, conteniendo este último gran número de cromosomas y un nucleolo.

cuanto se refiere á la célula que debe describirse detalladamente. Los procesos varían en sus detalles según los diversos animales, pero todos concurren en los puntos fundamentales, como se ve por la siguiente descripción:

En la célula del animal á que se refiere esta descripción hay cuatro cromosomas, excepto en las sexuales. Los óvulos provienen de otras célu-

las del cuerpo; mas durante su desarrollo, la cromatina se divide de tal modo que los óvulos contienen doble número de cromosomos, esto es, ocho (Fig. 34). Si este óvulo se uniese con la célula reproductora del macho, el óvulo fertilizado que resultara contendría muchos más cromosomos de los normales. Como consecuencia de esto, la generación nueva contaría con más cromosomos que la que le precedió, puesto que el óvulo, al dividirse, produce como todas las demás células otras nuevas con la misma cifra de cromosomos que la madre. Por tanto, si el número de cromosomos ha de ser igual que en la anterior, esta célula debe desprenderse de una parte de su cromatina, lo que se efectúa por el procedimiento

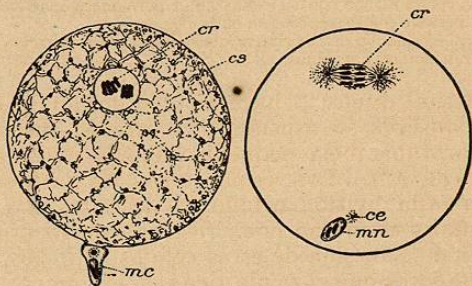


FIG. 34.

FIG. 35.

FIG. 34.—Este grabado y el 35 representan el proceso de la fertilización del óvulo. En ambos, *cr*, es el cromosomo; *cs*, la substancia celular (que se omite en estos grabados); *mc*, es la célula reproductora macho después de entrar en el óvulo.

FIG. 35.—Centrosomo del óvulo dividido, habiendo entrado la célula macho con su centrosomo en el óvulo.

mostrado en la Fig. 35. El centrosomo se divide como en la célula ordinaria y, después de haber girado sobre su eje, se aproxima á la superficie

del óvulo (Figs. 36 y 37). Entonces se divide éste (Fig. 38), pero de una manera especial. Aunque el cromosomo lo hace en dos partes

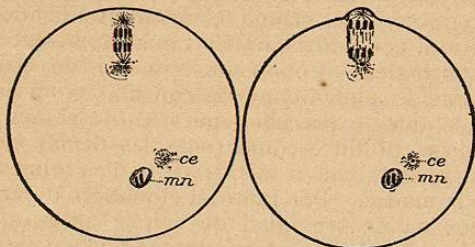


FIG. 36.

FIG. 37.

FIG. 36.—Los centrosomos del óvulo han cambiado su posición. La célula macho con su centrosomo permanece inactiva hasta el período que se representa en la Fig. 42.

FIG. 37.—Principio de la primera división para la separación de los cromosomos superfluos.

iguales, el óvulo lo hace en dos desiguales, una que conserva su aspecto, y la otra en forma de una protuberancia pequeña llamada *célula polar* (Fig. 38, *pc'*). Los cromosomos no se hienden como en la división celular ya descrita, sino que el óvulo y el cuerpo polar reciben cuatro cromosomos de cada una de estas células (Fig. 38). El resultado es que el óvulo tiene ya el número normal de cromosomos para las células ordinarias del nuevo animal. Pero todavía son demasiados, toda vez que el óvulo se une pronto á la célula macho, y ésta, como se verá, lleva también sus cromosomos, por lo que el óvulo ha de desprenderse aún de más cromatina. Por tanto, á la primera división sigue una segunda (Fig. 39), en la que se produce una célula grande y otra pequeña. Esta división, como la primera, se efectúa sin nin-

guna hendidura de los cromosomos, siendo rechazados la mitad de éstos en la nueva célula, *pc''*, y dejando la célula mayor (el óvulo) justamente con la mitad de cromosomos normales para las células del nuevo animal. Entretanto, la primera célula polar se ha dividido también, por manera que resultan cuatro células (Fig. 40), tres pequeñas y una grande, conteniendo cada una la mitad de los cromosomos normales. En el animal que está sirviendo de ejemplo, el número total de células es de cuatro. Al comenzar el proceso el óvulo contenía ocho, que han quedado reducidos

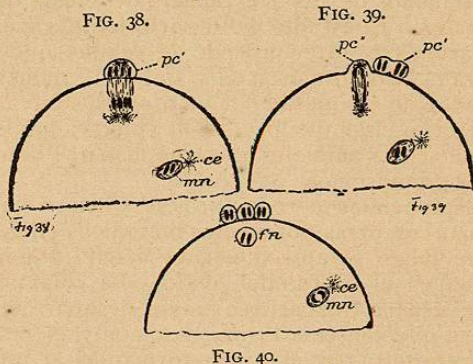


FIG. 38.—Primera división completa y primera célula polar formada, *pc*.

FIG. 39.—Formación de la segunda célula polar, *pc'*.

FIG. 40.—Fin del proceso de expulsión de la cromatina; *mn*, los dos cromosomos retenidos en el óvulo formando el pronúcleo hembra. El centrosomo ha desaparecido.

á dos. Las células pequeñas ó polares no toman ya participación en el desarrollo del óvulo, desapareciendo pronto, porque no tienen ya nada que hacer en el desenvolvimiento del animal que re-

sulte. La formación de las células polares no es más que un medio para eliminar cromatina de la célula hembra, de modo que pueda unirse á una nueva célula sin duplicar el total de cromosomos.

Con anterioridad á este proceso, el *espermatozoario*, ó célula macho reproductora, ha estado sometido á otro muy semejante. Este espermatozoario es también una verdadera célula (Fig. 34, *mc*), aunque menor que la hembra ú óvulo, y de diferente forma. Contiene substancia celular, núcleo con cromosomos y un centrosomo, siendo los cromosomos, como más adelante se verá, la mitad menos de los que tienen las células de los animales. El estudio del desarrollo del espermatozoario enseña que procede de células que contenían cuatro cromosomos y que este número se ha reducido á la mitad por un proceso equivalente al descrito en el óvulo. Así es como cada uno de los elementos animales no tiene más que la mitad de los cromosomos.

Estas células reproductoras se ponen en contacto unas con otras por medios mecánicos (Fig. 34), y, tan luego se aproximan, el macho hunde su cabeza en el cuerpo del óvulo. La cola, por la que el espermatozoario se movía, desaparece, y la cabeza que contenía los microsomos y el centrosomo, penetra en el óvulo formando lo que se llama el *pronúcleo macho* (Figs. 35 y 36, *mn*), lo que se verifica antes ó después de la formación de las células polares. Si se efectúa antes, el pronúcleo macho permanece inmóvil mientras que las células polares son impulsadas hacia fuera, y terminado este proceso comienza de nuevo á dar signos de actividad que tienen por resultado la unión celular.

Parece que los pasos subsiguientes en este proceso están dirigidos por el centrosomo, por más

que no se esté muy seguro acerca de la procedencia de éste. Ya se ha dicho que el óvulo contenía en su origen un centrosomo y la célula madre llevaba un segundo á la hembra (Fig. 35, *ce*). En algunos casos, y es lo que acontece en el que se está describiendo, el centrosomo hembra desaparece, mientras que el del espermatozooario queda solo para regir todas las actividades (Fig. 41).

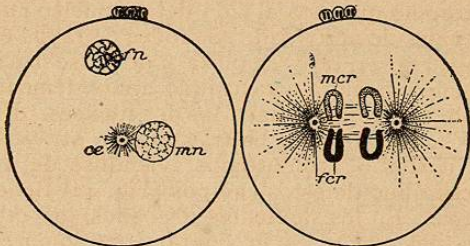


FIG. 41.

FIG. 42.

FIG. 41.—Los cromosomas macho y hembra se han transformado en el interior de una red. El centrosomo macho empieza á dar signos de actividad.

FIG. 42.—Los centrosomos se han dividido y los dos pronúcleos se han unido. La red en cada núcleo se ha transformado á su vez en dos cromosomas que se han unido cerca del centro del óvulo, pero no se han fundido; *mcr*, representan los cromosomas del núcleo macho; *fcr*, los cromosomas del núcleo hembra.

Es muy posible que esto suceda en todos los óvulos, mas no es seguro. Interesa investigarlo, porque si fuera así, se deduciría que el mecanismo de la división celular en el caso de reproducción sexual se deriva del padre, aunque la mayor parte de la célula procede de la madre, siendo producidos los cromosomas por ambos.

Estudiado más detenidamente el proceso, se observan los siguientes cambios posteriores. Después que ha penetrado en el óvulo la cabeza del

espermatozooario, permanece inmóvil hasta que ha arrojado sus células polares, eliminando así parte de sus cromosomas (Fig. 35, *ce*) los que están unidos al espermatozooario, formando así el pronúcleo macho (Figs. 35-40, *mn*). La cromatina, lo mismo en el pronúcleo macho que en el hembra, se fracciona pronto dentro de una red, en la que ya no se puede distinguir si tiene dos cromosomas (Fig. 41). Entonces es cuando el centrosomo que está al lado del pronúcleo macho, da señales de actividad. Se rodea de rayos estrellados (Fig. 41, *ce*) y empieza á dirigirse hacia el pronúcleo hembra arrastrando aparentemente al macho, hasta que se unen los dos núcleos. Entretanto la cromatina se ha fraccionado otra vez en hilos cortos ó cromosomas, viéndose de nuevo que cada uno de estos cuerpos (Fig. 42) tiene dos núcleos. En los siguientes grabados, los cromosomas del macho están ligeramente sombreados y los del núcleo hembra son negros, lo que permite distinguir unos de otros. Una vez completamente unidos los núcleos, sus membranas desaparecen, la cromatina queda libre en el óvulo, y los cromosomas macho y hembra uno al lado del otro, pero distintos, constituyendo el *óvulo segmentado*. En este estado, el óvulo vuelve á contener el número normal de cromosomas para las células del animal, procedentes por partes iguales de los padres. Llama la atención ver que más adelante los cromosomas no se funden uno en otro en este *óvulo fertilizado*, sino que quedan perfectamente separados, por manera que se puede ver que el nuevo núcleo contiene cromosomas derivados de dos sexos distintos (Fig. 42). Tampoco parece que haya en el desarrollo posterior del óvulo ninguna fusión real del material cromá-