

Enseñanza de la histología

I. Anatomía de la célula

Antonio Villasana*

Este artículo ha sido hecho para los estudiantes de medicina. Es el primero de una serie, que tenemos la intención de ir publicando, sobre distintos aspectos del vasto campo de la enseñanza de la histología. Ahora se trata de dar a conocer un modelo de célula animal construido en la sección de modelado del Departamento de Histología de la Facultad de Medicina de la U.N.A.M. Este modelo fue hecho con el fin de facilitar al alumno el aprendizaje de la complicada estructura de la célula, y a la vez ayudarlo a formar un concepto dinámico de ella, representando en volumen y en color diversos aspectos de los prin-

cipales elementos que la forman y las actividades que ellos desempeñan.

Vamos a dar una somera descripción de las partes del modelo valiéndonos de numerosas fotografías del propio modelo. Esta colección de imágenes puede servir de guía al estudiante que se acerque a la reproducción de la célula que nos ocupa.†

I. El concepto de célula

Considero que tener una idea lo más clara posible de lo que es la célula es uno de los conceptos importantes que debe obtener el estudiante como corolario de sus clases de histología.

Todo en biología arranca del concepto de célula. Repetiré una vez más a los estudiantes: el denominador común entre los seres vivos es la célula; una bacteria y una mujer, una orquídea y un elefante tienen en común estar formados por células.

Esto lo plasmó Teodoro Schwann al emitir en 1839 lo que conocemos ahora como Teoría celular y que podemos enunciar de la siguiente forma: todos los seres vivos están formados por células y

por sus productos. Los productos de las células, en el caso del organismo humano, son los líquidos del cuerpo y las sustancias intercelulares.

El concepto de célula como unidad de la materia viva tardó mucho en ser aceptado y tuvo un largo proceso de formación. Desde luego no causó el revuelo inmediato que desencadenó Darwin con su doctrina de la evolución emitida en 1859, veinte años después de la publicación de Schwann. De hecho, sólo después que Rodolfo Virchow con su gran autoridad llevó el concepto de enfermedad hasta la célula, al crear la Patología celular en 1856, la doctrina celular empezó a ser aceptada universalmente. Virchow mismo agregó a la doctrina la idea que las células provienen o se originan a partir de otras células.

Sin embargo, menos impacto aún produjeron en 1866 los trabajos de Mendel al crear lo que se podría llamar la doctrina de la herencia, puesto que permanecieron ignorados hasta 1900. Paradójicamente, son estos trabajos de Mendel los que brindan el más firme apoyo a la doctrina de la evolución y, a su vez, ésta en-

* Jefe del Departamento de Histología, Facultad de Medicina. UNAM. La realización de este modelo fue posible gracias a los conocimientos de modelado y escultura del profesor Timoteo Cortés Navarro, quien aparece en la página de la izquierda, y de sus ayudantes Víctor Manuel y Norberto Cortés Flores. El enorme empeño y cariño que siempre han puesto en su labor artística se refleja en esta obra. Asimismo tengo gusto en reconocer la ayuda del doctor Jorge González Ramírez, quien diseñó unos bocetos de la disposición de las partes del modelo; muchas de sus ideas quedaron incluidas como él las señaló.

cuentra su fundamento en el concepto de célula. La increíble variedad de los seres vivos ha llegado a ser comprensible en términos de la acción del proceso evolutivo sobre una forma particular de materia organizada: la célula. Los miles de diferentes tipos de células de todos los animales que han existido, pudieron haber provenido a lo largo de millones de años, de un sólo prototipo primitivo conservando, no obstante, suficientes caracteres comunes que trascienden las diferencias en especie.

Conviene recordar que gran cantidad de los datos que ahora poseemos sobre la célula, se han obtenido en los últimos veinte años. Nos ha tocado en suerte estar viviendo una verdadera revolución en los conocimientos sobre la estructura y función celulares, lo que nos obliga continuamente a incorporar hechos nuevos a nuestras explicaciones en la clase. Multitud de ciencias tienen como campo común la estructura y función celulares. El fisiólogo siempre lleva sus estudios hasta las estructuras que forman el asiento mismo de la función. Por ejemplo, al estudiar

contracción muscular tiene que penetrar su conocimiento hasta los miofilamentos que forman a las miofibrillas. Igual el bioquímico que trata de averiguar de qué modo está colocada la molécula de ADN en los cromosomas. De aquí que el morfológico deba estar al tanto de los logros de la bioquímica y de la fisiología celulares y llevar su explicación hasta los niveles moleculares donde la retomará el bioquímico y el fisiólogo.

II. Descripción general del modelo

Para la fácil comprensión de la descripción véase la figura 1-A, B, que representa una pequeña maqueta usada en la planeación del modelo. El modelo es una esfera de 1.80 m. de diámetro a la cual se le ha quitado un cuarto de su mitad superior quedando expuestos dos semicírculos planos frente al observador (fig. 2). Una de estas superficies es horizontal y la otra es vertical. La tapa que forma la superficie vertical puede inclinarse hasta tocar la horizontal, dejando al descubierto el espacio hueco del cuarto de esfera superior y posterior. En este espacio se han repre-

sentado varias estructuras en volumen (fig. 3). Teniendo en cuenta que los hallazgos con el microscopio electrónico siguen sucediéndose sin cesar, se ha planeado que estas superficies planas puedan ser ser desmontadas pudiendo colocarse nuevas superficies con otros aspectos de la estructura fina de la célula, o bien modificar las actuales cuando el caso lo amerite (fig. 4). El modelo fue montado sobre una base con ruedas para que pudiera ser movilizad al salón de clases o donde fuese necesario.

Parte de la superficie externa, convexa, se ha utilizado para demostrar aspectos de modificaciones de la membrana plasmática, tales como microvellosidades, un cilio y un flagelo (fig. 5). Así mismo, se muestran en ciertas porciones de esta cara convexa, algunas funciones celulares como la pinocitosis o sea la ingestión de líquidos por la célula, la fagocitosis y el "burbujeo" o zeiosis que sigue a la separación de las dos células hijas por el anillo de constricción hacia el fin de la telofase. También se ha colocado sobre esta superficie la membrana basal sobre

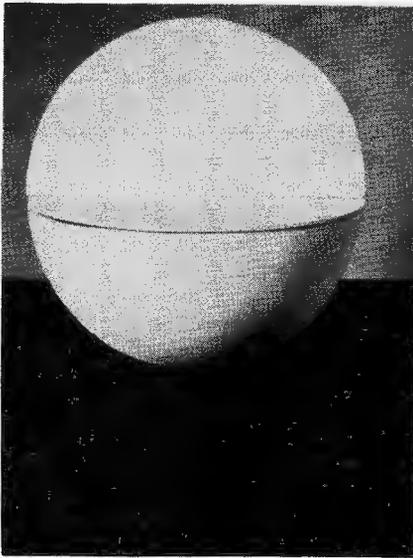


Fig. 2. Panorámica de las superficies vertical y horizontal del modelo.



Fig. 3. La fotografía muestra el espacio posterosuperior después de bajar la cara vertical sobre la horizontal. En él se han representado varias estructuras en volumen y el proceso de la división celular.

Fig. 1-A. Fotografía de la pequeña maqueta que sirvió para desarrollar el modelo grande.

Fig. 1-B. Nótese que la cara vertical puede bajarse sobre la horizontal, dejando al descubierto el espacio del cuarto de esfera posterosuperior.

Fig. 4. Esta fotografía muestra cómo fue armada una de las tapas y también que ésta se puede modificar cuando haya que cambiar alguna estructura o algún concepto.

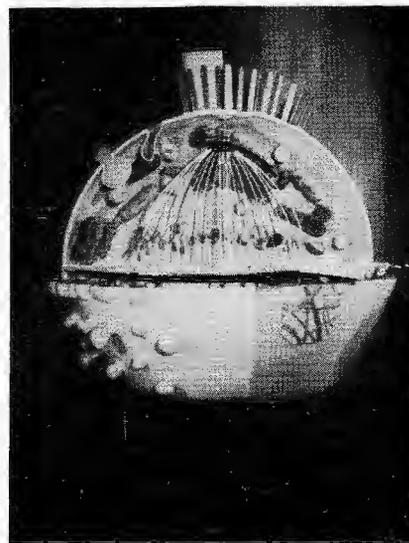
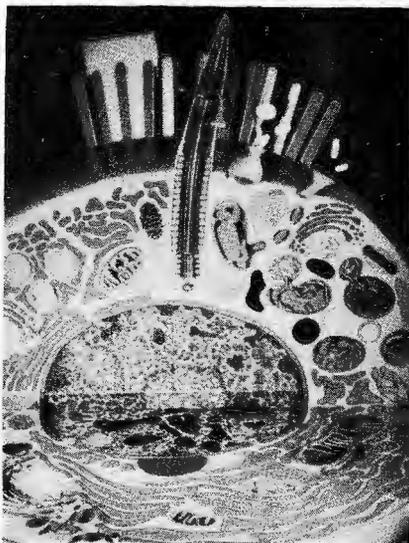
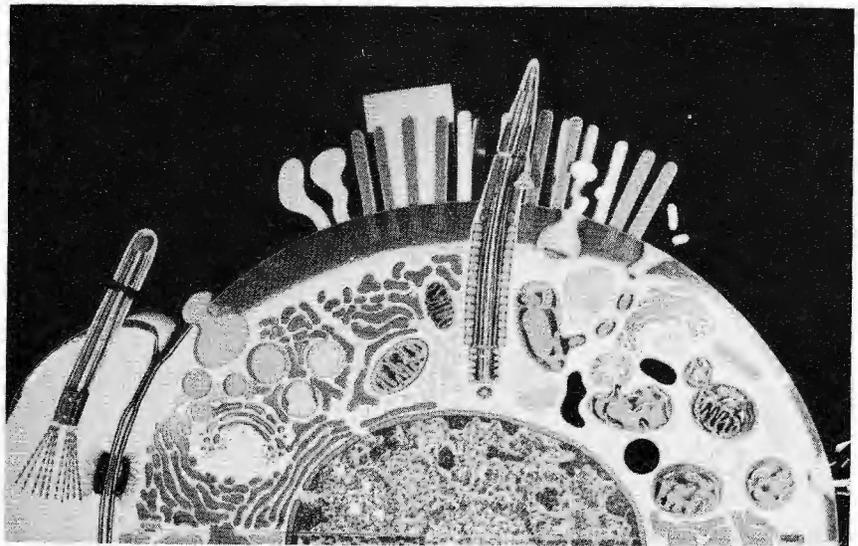


Fig. 5. El modelo con un fragmento de célula adicional con un cilio. Sobre la superficie diversos tipos de microvellosidades y en la parte central del flagelo. Entre las dos células el complejo de unión con un desmosoma en su parte inferior.



la que descansan y se fijan muchos tipos de células (fig. 6).

Hacia el borde izquierdo de la célula, en su parte inferior, se ha adosado un pequeño fragmento de esfera con el que se ha querido representar una porción de otra célula y de este modo mostrar dos de los dispositivos con que las células se unen entre sí, que son el complejo de unión y los desmosomas (fig. 5).

En todas estas superficies se han repartido las diferentes partes de la célula mostrando su aspecto al corte y en volumen en tres dimen-

siones. Cada elemento lleva un color distinto, lo más contrastado posible para permitir mejor su diferenciación. El color sólo se repite cuando se trata del mismo elemento. La mayoría de los aspectos representados son los que ha revelado la microscopia electrónica pero algunos son los clásicos de la microscopia de luz.

Más que describir sin ningún plan los diferentes elementos como quedaron en las distintas superficies, los vamos a mencionar en el orden clásico de la histología, dando primero los detalles del

núcleo y después los del citoplasma. Esto nos permitirá aprovechar la ocasión para recalcar al estudiante algunos puntos importantes.

Las células constan de dos partes: el núcleo y el citoplasma. La membrana plasmática, que se consideraba antes como un tercer elemento característico de las células, se sabe ahora que forma parte de un extenso sistema de membranas (citomembranas) que son parte del citoplasma.

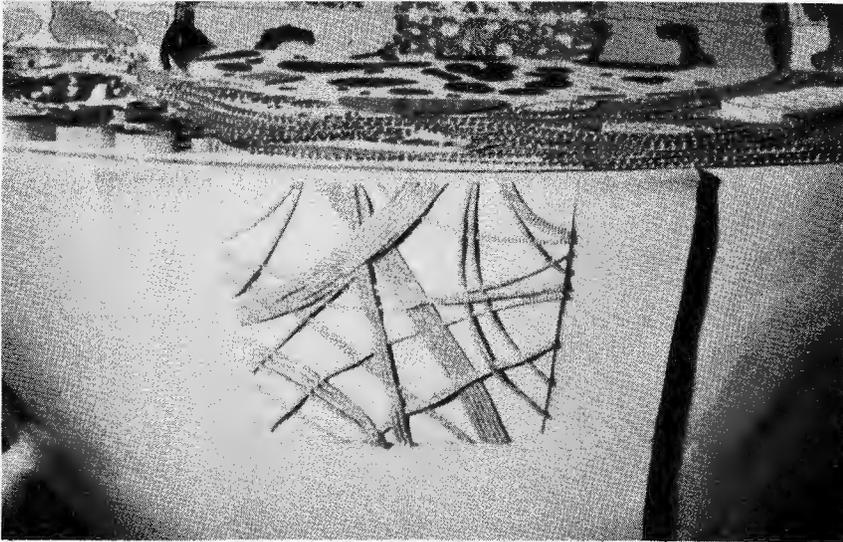


Fig. 6. La membrana basal con sus dos láminas (amorfa y fibrosa).

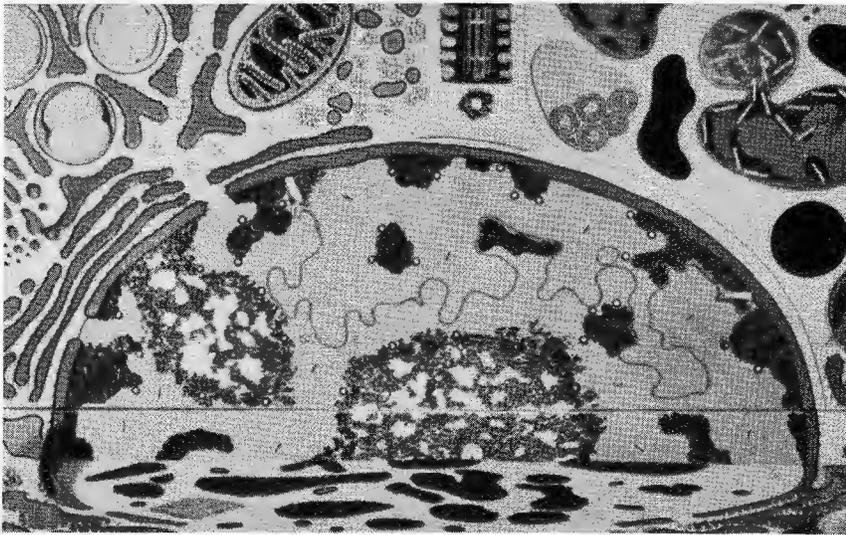


Fig. 7. Fotografía para mostrar una vista panorámica del núcleo en interfase representado en la cara vertical. Nótese la membrana nuclear con dos poros, uno ocluido por un diafragma. Hay dos nucleolos, uno central y otro periférico. La heterocromatina está situada en la periferia, en islotes y perinucleolar. Nótese también un hipotético cromosoma del núcleo en interfase con dos porciones arrolladas adosadas a la membrana nuclear y el resto desembobinado.

III. El núcleo

El núcleo consta de cuatro elementos:

- a) Membrana nuclear.
- b) Cromosomas.
- c) Nucleolo.
- d) Jugo nuclear.

La primera noción que es muy importante tener presente es que el núcleo es el elemento que dirige o "controla" las actividades del citoplasma.

a) La membrana nuclear, que en las preparaciones ordinarias podemos delimitar por teñirse los

materiales adheridos a ambos lados de ella en el núcleo y el citoplasma, vista con el microscopio electrónico aparece formada por dos membranas, separadas entre sí por un espacio de distancia variable llamado espacio o cisterna perinuclear (fig. 7). Lo más notable de la membrana nuclear es que tiene orificios o poros que en seguida hacen pensar en un posible paso de materiales entre el núcleo y el citoplasma y viceversa. En efecto, métodos especiales como la autorradiografía, la observación directa de células vivas, la microscopia electrónica, etc., han

demostrado que es factible que haya un continuo y activo intercambio de materiales entre el citoplasma y el núcleo así como en sentido inverso. Piénsese que deben llegar al núcleo todos los elementos que van a permitir la duplicación del material genético de los cromosomas.

La membrana nuclear ha sido representada en tres aspectos distintos. Primero como se le observa en las micrografías electrónicas al corte: como dos líneas oscuras que se unen circunscribiendo los poros (fig. 7). En una porción se

Fig. 8. Aspecto general del núcleo durante la división celular. Los cuerpos oscuros son cromosomas vistos con el m.é. Sólo en la parte frontal se ha quitado la membrana nuclear pues en el lado derecho se aprovecha para señalar la continuidad con el retículo endoplásmico. Hay pequeñas vesículas lisas entre los cromosomas que pasaron del citoplasma al disolverse la membrana nuclear. Nótese la vesícula del aparato de Golgi que contiene un gránulo acrosómico y que comienza a formar el capuchón cefálico. Así mismo el intranuclear de forma de cuadrado regular.



Fig. 9. Membrana nuclear en relieve con dos poros.



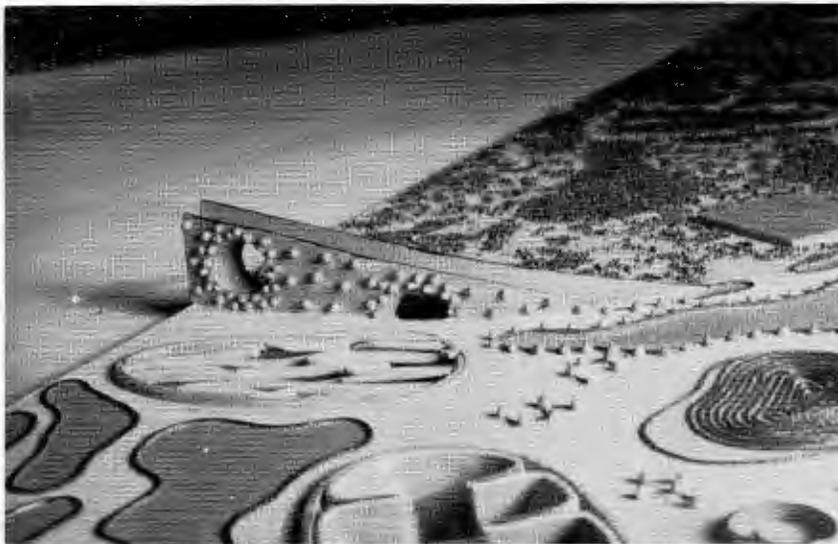


Fig. 10. Otro aspecto de la membrana nuclear para demostrar el "complejo del poro".

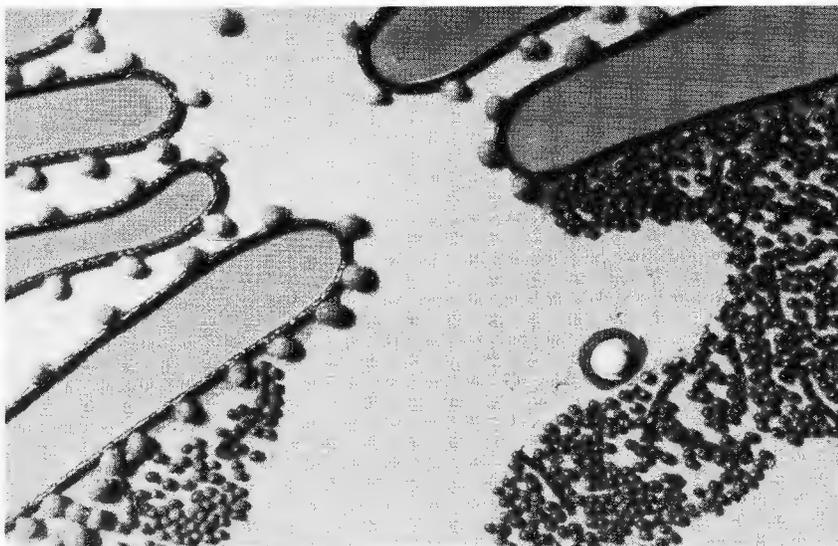


Fig. 11. Salida de ribosomas a nivel del poro. A la derecha un gramo de cromatina "periférico" con un gránulo "pericromatínico".

representa la continuidad de la membrana nuclear con las que delimitan espacios (tubos o cisternas) del retículo endoplásmico en el citoplasma (fig. 8). Este es un concepto importante, pues se considera que la membrana nuclear deriva de este organito del citoplasma. En efecto, se ha observado que durante la telofase la membrana parece formarse por coalescencia de vesículas del retículo endoplásmico y por eso el espacio se llama espacio o cisterna perinuclear.

En el segundo aspecto, la membrana nuclear se levanta por al-

gunos centímetros como dos láminas que quedan unidas a nivel del poro (fig. 9). Aquí se han representado los detalles del llamado complejo del poro que consiste en el canal formado a nivel del poro con un acúmulo de ribosomas por el lado de la membrana que ve al citoplasma y por un acúmulo de gránulos y pequeños filamentos que forman a los grumos de cromatina —cromosomas— por el lado del núcleo (fig. 10).

Otro aspecto muy importante de fisiología celular es la representación de la salida de riboso-

mas del interior del núcleo al citoplasma (fig. 11). Esta sería la manera como el núcleo controlaría las actividades del citoplasma. Por los poros saldrían los tres tipos de ARN (el ribosomal que, como su nombre indica, está contenido en los ribosomas; el mensajero que probablemente une en ocasiones varios ribosomas formando polirribosomas (fig. 12) y el de transferencia). Pero recuérdese que también por los poros entran sustancias del citoplasma al interior del núcleo y que cuando la célula no está en división (interfase) se duplica el ADN.



Fig. 12. Polirribosomas que pueden desprenderse del modelo. A su alrededor hay varios más fijos.

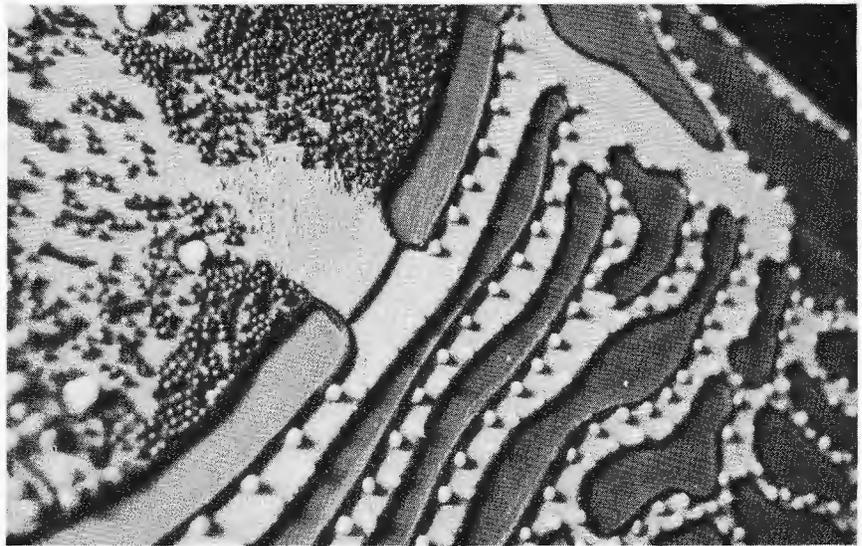


Fig. 13. Núcleo en volúmen con poros y con una invaginación.



Fig. 14. Detalle de la foto anterior. Dos poros tienen diafragma.

Fig. 15. Diafragma visto en corte transversal.



El tercer aspecto que se ha representado para llamar la atención sobre este intercambio continuo de sustancias entre el núcleo y el citoplasma y viceversa, es el relativo a los poros del núcleo. Se representa en el modelo parte de éste como un cuarto de esfera con gran número de depresiones en su superficie que simulan los citados poros (fig. 13). Esto se aprecia al descender la tapa vertical sobre la horizontal, pues hace prominencia el núcleo que hemos colocado sobre la cara posterior de la superficie vertical. Nótese que algunos poros tienen un diafragma'

(fig. 14), que también hemos representado en corte transversal (fig. 15). Asimismo, se aprovecha una parte de esta superficie para mostrar una invaginación de la membrana nuclear.

Las muescas que característicamente presentan algunos núcleos como el de los macrófagos, serían una cosa semejante sólo que la invaginación sería de grado mucho mayor.

b) Los cromosomas. Estos importantísimos elementos del núcleo los hemos representado de tres maneras diferentes: 1. Como

se observan con el microscopio de luz durante el proceso de división celular en la etapa de metafase (fig. 16). Aquí mezclamos esta imagen de la microscopia de luz con el resto de imágenes obtenidas con microscopia electrónica. Se perdonará esta incongruencia si se considera que, de haber guardado la correspondencia en el tamaño, sólo hubiésemos podido representar porciones muy pequeñas de algunos cromosomas. Por otra parte, nuestro deseo de incluir otro proceso dinámico (el de la mitosis) nos decidió a realizarlo a nivel del microscopio de luz.

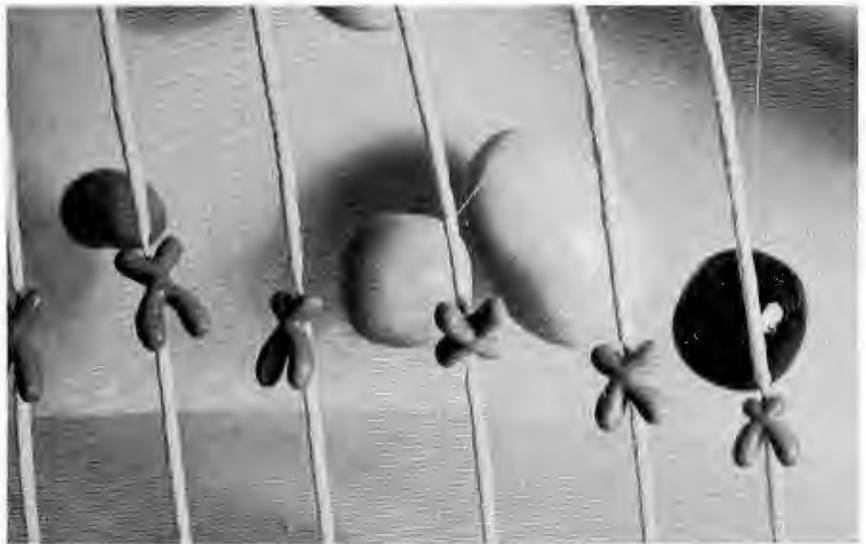


Fig. 16. Cromosomas en metafase.

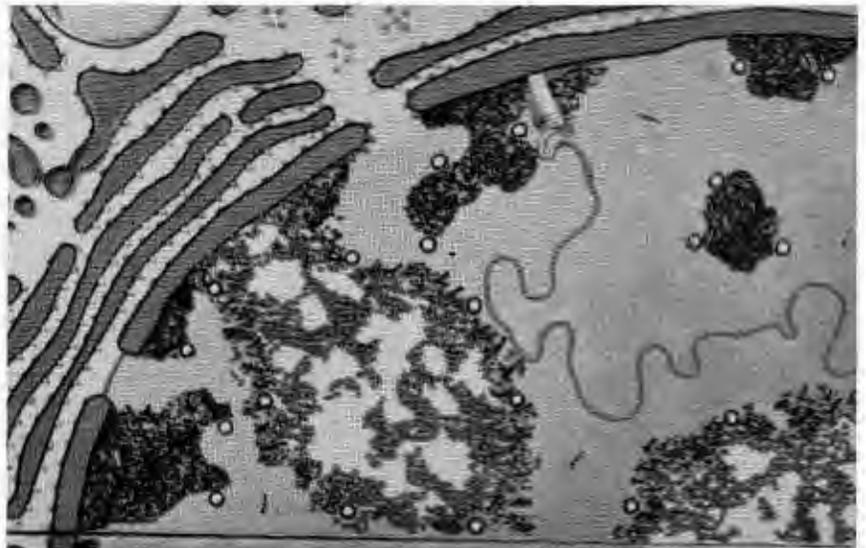


Fig. 17. Granulos "pericromatínicos" alrededor de los grumos de cromatina periféricos, alrededor de los nucleolos y de los islotes. Parte del cromosoma hipotético en interfase.

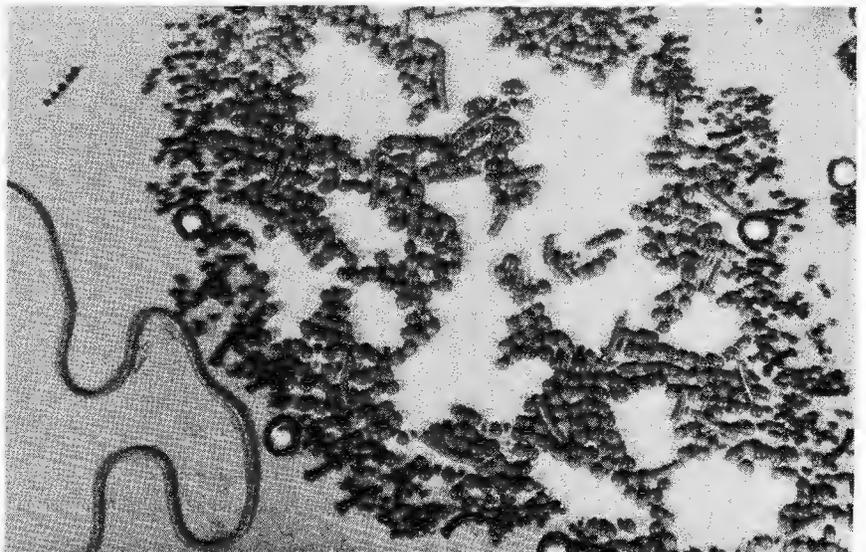


Fig. 18. Representación del núcleo con cordones entrelazados de gránulos y algunas fibras dejando espacios (pars amorfa) por los que probablemente circula jugo nuclear, los granos pericromatínicos e intercromatínicos (formando pequeñas cadenas) a la izquierda el cromosoma hipotético de la interfase.

2. En la cara horizontal se muestra la estructura fina de los cromosomas (vistos con el microscopio electrónico) durante la mitosis (fig. 18), y 3, durante la interfase. De acuerdo con lo observado en las micrografías electrónicas, a uno de los materiales que contienen los cromosomas (probablemente la molécula de ADN) en el modelo lo vemos representado como gránulos y filamentos. En la cara vertical (núcleo en interfase) representamos, además, la localización topográfica de los acúmulos de gránulos y filamentos que corresponden a las porciones heterocromáticas. La heterocromatina es lo que antes designábamos como "grumos de cromatina" pero que ahora interpretamos como porciones más densamente embobinadas y posiblemente genéticamente no activas de los cromosomas. Hemos tomado para nuestro modelo la distribución de los grumos de cromatina en el núcleo de las células hepáticas de las que existen hermosas micrografías. Nótese las tres localizaciones a) la cromatina periférica, (fig. 7) b) la cromatina perinucleolar y c) los islotes de cromatina.

En algunos islotes hemos hecho

resaltar, aumentando deliberadamente su tamaño, los "gránulos pericromáticos" con su peculiar halo claro alrededor de ellos. Es probable que estos gránulos representen ribosomas. En esta representación deseamos hacer hincapié en dos conceptos de la fisiología celular. Uno de ellos es que durante la interfase persisten los cromosomas, pero de ellos sólo vemos sus regiones heterocromáticas, tal vez —como creen algunos citólogos— debido a que la molécula de ADN se encuentre desembobinada para permitir quizás mejor las reacciones químicas en las que interviene la molécula y la hidratación de la histona que la acompaña (fig. 17). El otro concepto es que quizás el sitio que ocupan cada uno de los cromosomas sea fijo, como lo han sugerido las observaciones de varios investigadores. Por eso la disposición de los grupos de cromatina es característica de los núcleos de ciertas células.

c) El *nucleolo*. En la cara vertical hemos representado dos nucleolos teñidos de color azul para que se diferencien fácilmente de los otros elementos del núcleo en

interfase. Uno se ha situado en el centro del núcleo y otro junto a su membrana (fig. 7 y 17).

para destacar el desplazamiento del *nucleolo* lo que ocurre tal vez para facilitar el pasaje de material nucleolar al citoplasma (fig.

11). Ya se dijo que el *nucleolo* puede estar rodeado por regiones heterocromáticas de cromosomas (cromatina asociada al núcleo o perinuclear, ya que cada *nucleolo* está asociado a un lugar especial de ciertos cromosomas llamado "organizador del *nucleolo*").

Durante la división celular el *nucleolo* desaparece y se vuelve a reconstruir por la actividad del organizador del *nucleolo*. Nótese que el *nucleolo* no tiene membrana (Fig. 18). El microscopio electrónico ha revelado que está formado por cordones entrelazados de un material conteniendo gránulos (Fig. 18). Los gránulos parecen corresponder a ribosomas. Entre los cordones de gránulos quedan espacios (*pars amorphae*) por donde circularía jugo nuclear.

Desde hace muchos años los citólogos habrán notado que las células embrionarias de rápido crecimiento y células con actividad se-

Fig. 19. Vesículas de retículo endoplásmico liso. La membrana ha sido representada con un cordón.



Fig. 20. El cordón que representa la membrana se interrumpe quedando representada la "unidad de membrana" por un dibujo.

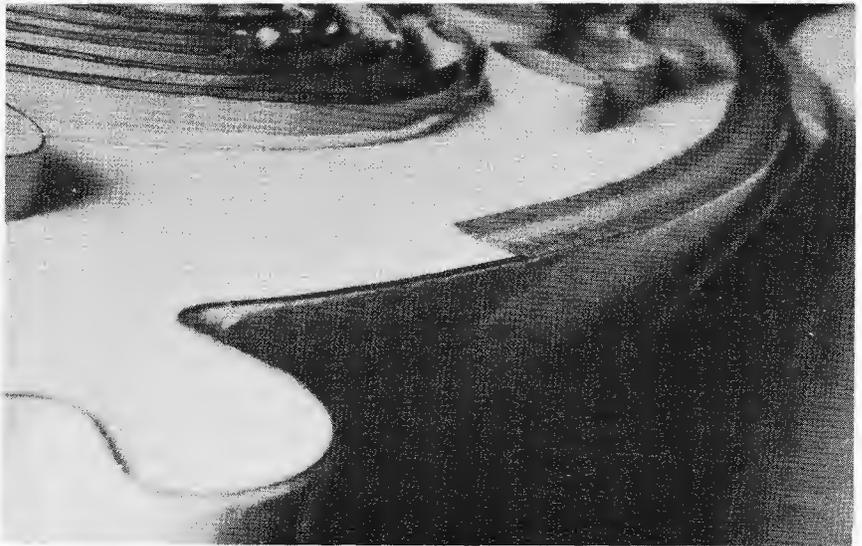
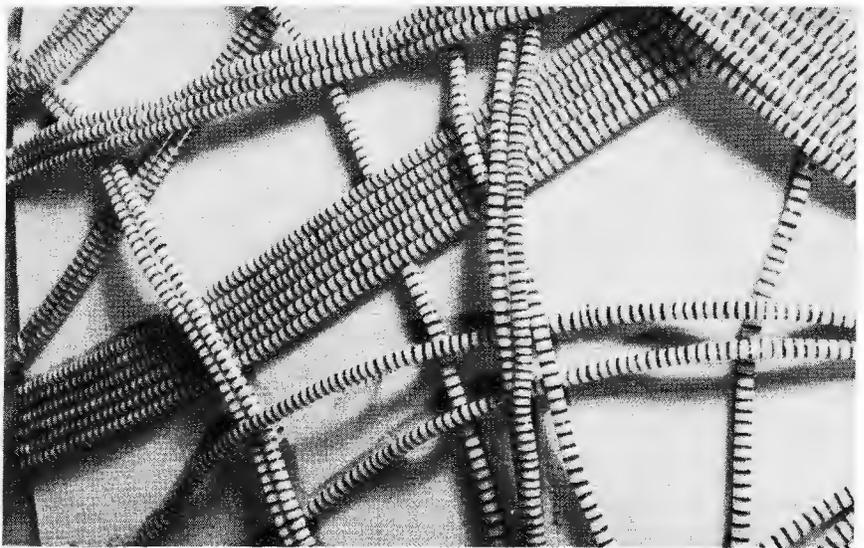


Fig. 21. Detalle de la lámina fibrosa de la membrana basal.



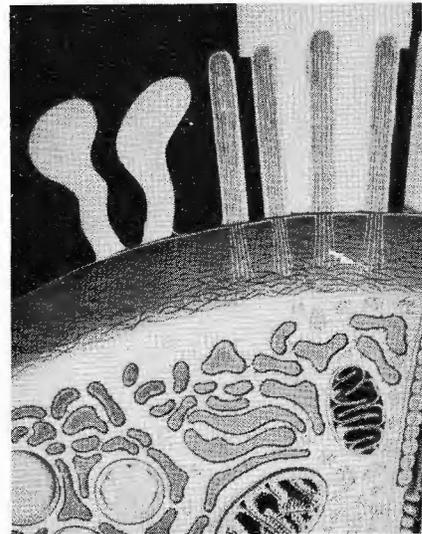


Fig. 22. Tres tipos diferentes de microvellosidades. Tres de ellas están cubiertas por material amorfo PAS positivo. A la izquierda microvellosidades "en clava". Nótese el anclaje de algunas en la tela terminal.

cretora tienen nucleolos muy aparentes y les hizo pensar que intervenía en la síntesis de proteínas por la célula. Esto ha sido comprobado por diversos métodos modernos pero aun queda mucho por aprender acerca de este organito.

d). *El Jugo nuclear.* El jugo nuclear ha quedado representado como todo el espacio que queda entre los cromosomas y el nucleolo circunscrito por la membrana nuclear. Puesto que como se ha señalado la heterocromatina del núcleo en interfase corresponde a las porciones arrolladas (embobinadas) y probablemente no activas de los cromosomas, de ello se deduce que las partes activas desbobinadas de los cromosomas no visibles están en el jugo nuclear. En este jugo nuclear o "substancia intercromatínica" se observan dos tipos de gránulos: 1) los gránulos pericromatínicos rodeados por un halo claro y situados cerca de las masas de cromatina (heterocromatina) y que quizás representen ribosomas (Fig. 17) y 2), los gránulos intercromatínicos que frecuentemente forman cadenas o acúmulos angulares. (Fig. 18).

IV.—El citoplasma.

Se recordará que el citoplasma

está formado por tres elementos principales a saber:

- a).—Los organitos o parte "viva" del citoplasma.
- b).—Las inclusiones o material inerte.
- c).—El hialoplasma o matriz citoplasmática que sería el coloide citoplasmático que mantiene en suspensión a los otros dos elementos y que sería el equivalente al jugo nuclear en el citoplasma.

Los organitos del citoplasma son los siguientes:

El sistema de citomembranas que a su vez incluye a:

- 1).—La membrana plasmática.
- 2).—El retículo endoplásmico.
- 3).—El aparato de Golgi.
- 4).—Las mitocondrias.
- 5).—Los lisosomas.
- 6).—Los microcuerpos.

Los ribosomas.

El centro celular (centrosoma).

Filamentos y túbulos intracitoplásmicos.

Otro concepto importante que señalar al estudiante y una de las ideas capitales para integrar un concepto de célula es la importan-

cia que tienen las diferentes membranas de la célula. Durante muchos años, antes del uso del M.E. en la Histología no se podía comprender como llevándose al cabo procesos químicos tan diversos dentro del citoplasma de una célula no fuese aparente ninguna parcelación de éste.

En efecto, muchas células mostraban simplemente un espacio óptico vacío alrededor del núcleo tanto en células vivas como con las técnicas de tinción ordinarias. El estado físico del citoplasma explicaba en parte que se pudieran llevar al cabo procesos de diversa índole en distintas porciones del citoplasma. El coloide citoplasmático podía tener grupos de macromoléculas como coacervados, relativamente separados de otras porciones del citoplasma. Una de nuestras preocupaciones al hacer el modelo fue tratar de dar como primera impresión la presencia de multitud de pequeños compartimentos de muy distinto tamaño y forma que ha revelado la microscopía electrónica que existen dentro del citoplasma, naturalmente que en mayor abundancia en unas células que en otras. En un símil muy objetivo que expresa este problema con toda claridad, Ham

Fig. 23. Complejo de unión con zónula ocludens, zónula adherens y mácula adherens. Aquí se ha representado la unidad de membrana con sus tres capas.

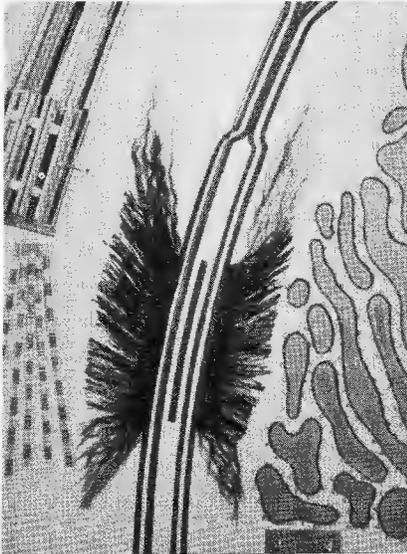


Fig. 24. Vesícula endocítica en el proceso de fagocitar varias partículas.

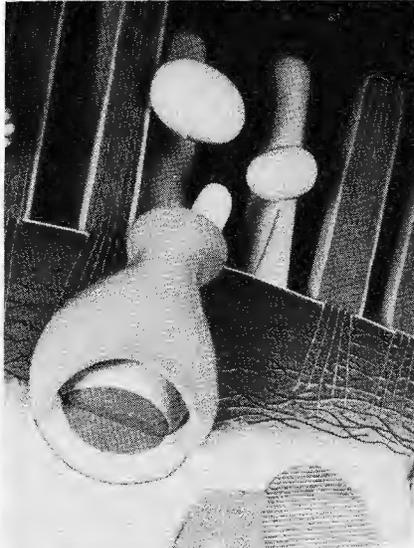


Fig. 25. Pliegues de la membrana que forman vesículas pinocíticas.

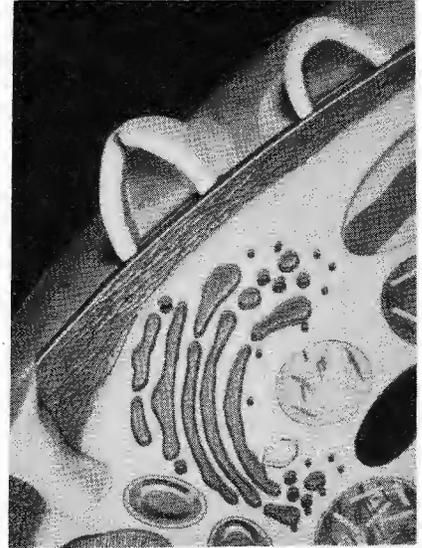
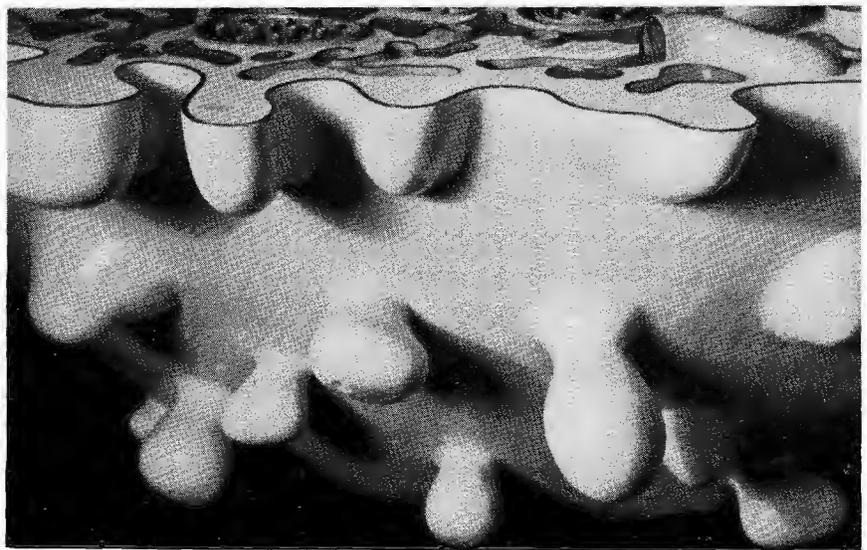


Fig. 26. "Burbujeo" al final de la división celular.



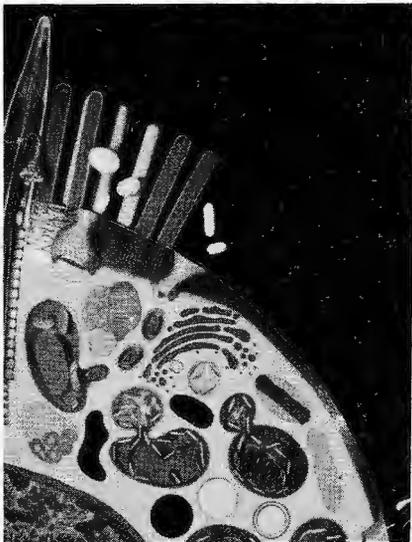


Fig. 27. En la superficie microvellosidades no cubiertas por material amorfo.

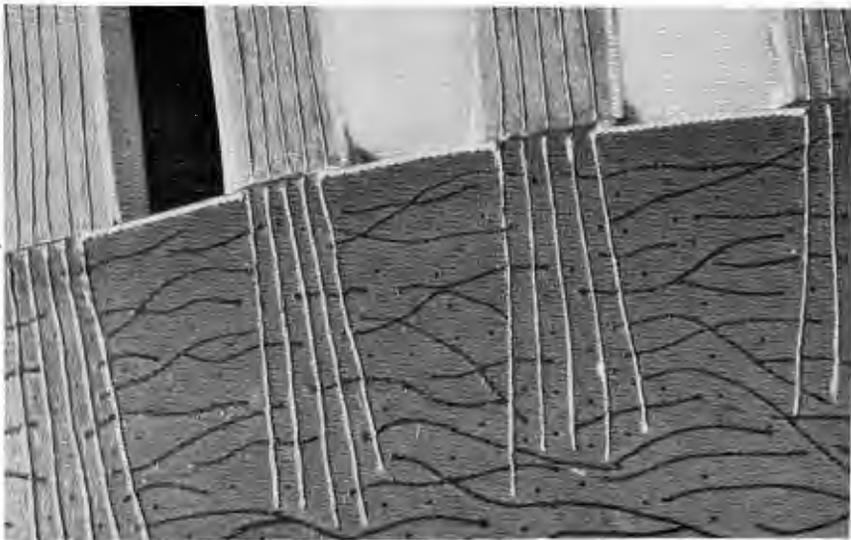


Fig. 28. Microvellosidades delgadas, largas (estereocilios) de las células del epidídimo.

Fig. 29. Anclaje de las microvellosidades en la tela terminal.

contesta a la pregunta que él mismo se ha formulado de como pueden ocurrir procesos químicos de tan diversa naturaleza dentro del citoplasma diciendo que sería el problema semejante al de tener animales de toda índole juntos en un zoológico. Solo teniendo en jaulas separada al león y al venado puede evitarse que aquel devore a éste.

El sistema de citomembranas subdivide al citoplasma en numerosos compartimentos que pueden funcionar en forma independiente. Lo que tienen de común dichos compartimentos es que están rodeados por membranas; pe-

ro funcionan aisladamente y la labor de uno se complementa con la del otro, siendo todos indispensables. Cada célula se especializaría en una función o funciones determinadas, debido a la actividad de los genes contenidos en los cromosomas dentro del núcleo que determinarían los procesos biosintéticos, y en general metabólicos, que se efectuarían en el hialoplasma o matriz citoplasmática. Por otra parte, los estudios de Sjöstrand han señalado recientemente que el grosor de las membranas en diferentes organelos difiere entre sí. Por ejemplo, él encuentra que las membranas mito-

condriales tienen un grosor de aproximadamente 50 Å y las del aparato de Golgi y otras vesículas de superficie lisa tienen un grosor como de 60 Å. Es probable que, aunque "la unidad de membrana sea básicamente la misma, haya diferencias entre las diversas membranas.

A continuación vamos a revisar brevemente algunos de los aspectos morfológicos de las seis estructuras membranosas que forman el sistema de citomembranas.

1. La *membrana celular*. Aunque es lógico pensar que la célula debe estar separada del medio líquido que la rodea por una mem-

Fig. 30. Retículo endoplásmico rugoso.

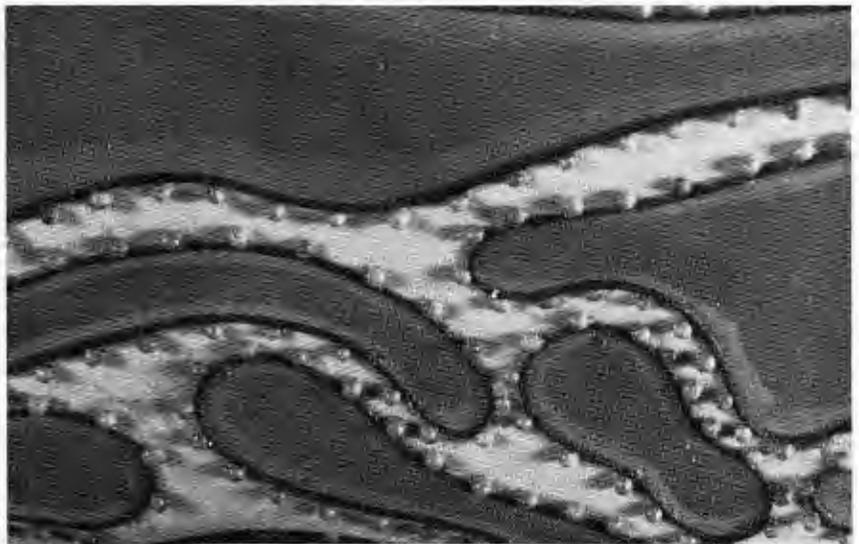
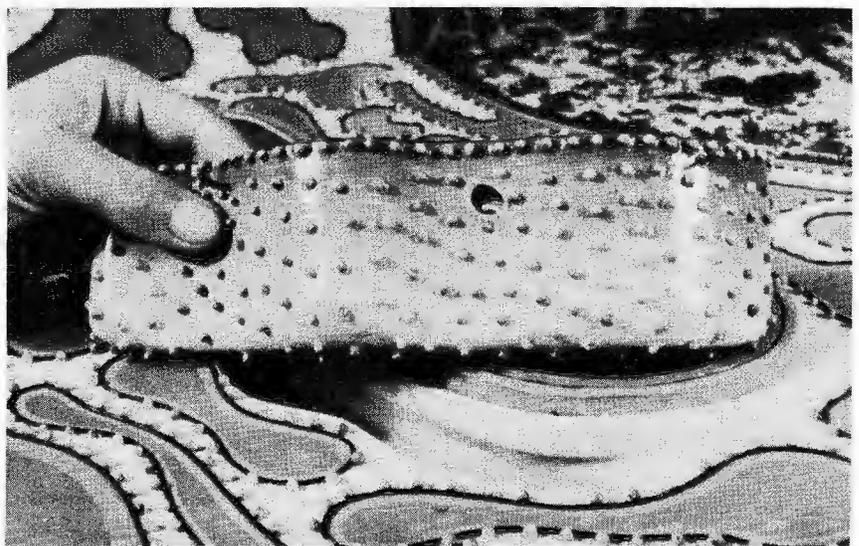


Fig. 31. Vesícula de retículo endoplásmico rugoso que puede desprenderse del modelo.



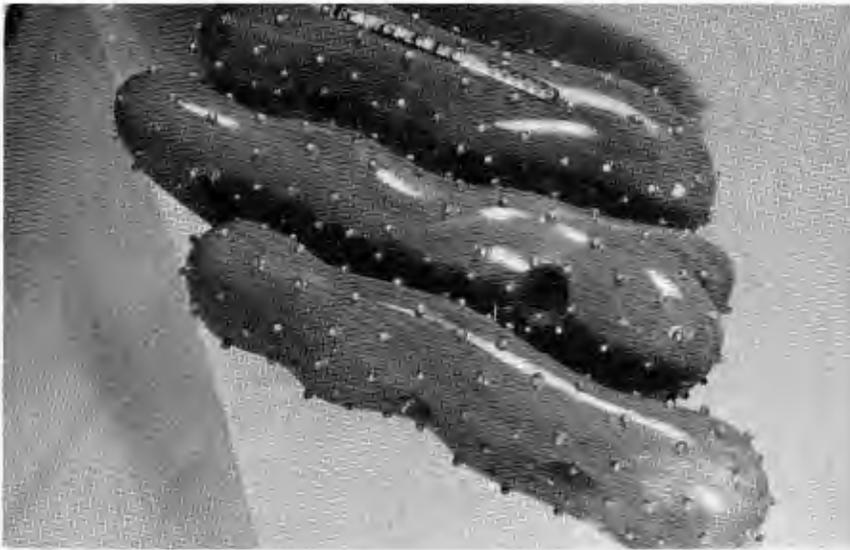


Fig. 32. Tres vesículas de retículo endoplásmico rugoso en volúmen.



Fig. 33. Vesícula de retículo endoplásmico liso que puede desprenderse del modelo.

brana, ésta no había podido ser vista con el microscopio de luz, aunque se estaba bastante seguro de su existencia debido a varias pruebas indirectas, como, por ejemplo, desgarros con el aparato de microdissección en la superficie de células voluminosas y el encogimiento e hinchazón de las células cuando son colocadas en soluciones hiper o hipotónicas. Además, diversas experiencias histológicas, como la baja permeabilidad para los iones y la gran permeabilidad para las sustancias solubles en lípidos, señalaron que las membranas eran, probablemente, com-

plejos lipoprotéicos. Aun con el microscopio electrónico, al principio sólo logró verse la membrana como una línea oscura única. Cuando se empezaron a utilizar otros fijadores como el permanganato de potasio fue posible ver que la membrana celular tiene tres capas, dos oscuras separadas por una clara. Se debe a Robertson el concepto de la "unidad de membrana" que sería esta estructura trilaminar que se encuentra en casi todas las células. En el modelo en general hemos representado con un cordón delgado, a las membranas vistas en corte. En el borde

anterior de la cara horizontal hemos representado, por medio de un dibujo, a la unidad de membrana.

Muchos tipos de células tienen parte de su superficie cubierta con un material rico en azúcares. Tal es el caso de las paredes de celulosa de las células vegetales y la cutícula que reviste los epitelios de algunos insectos. En el hombre tenemos como ejemplo la zona o membrana pelúcida que rodea al óvulo y que tiene que ser atravesada por el espermatozoide para poderse llevar a cabo la fertilización. Además, gran número



Fig. 34. Aparato de Golgi en volúmen.

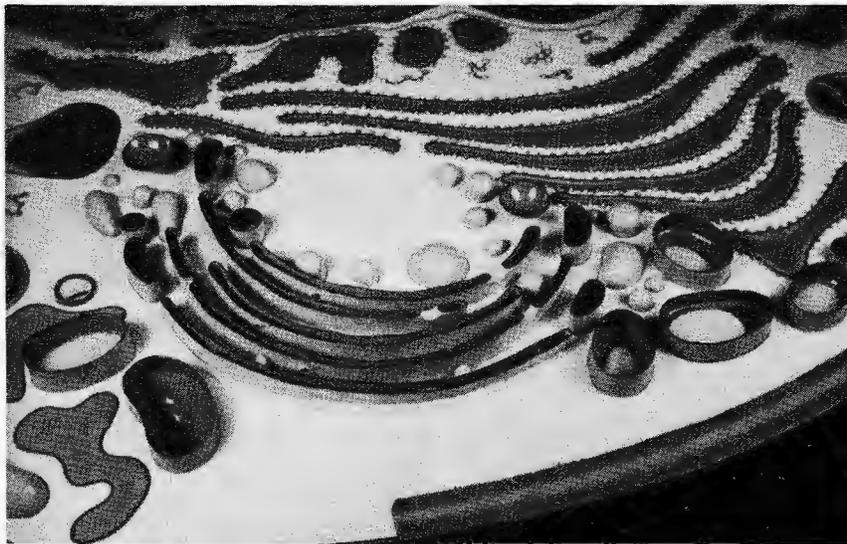


Fig. 35. Aparato de Golgi como se observa al corte.

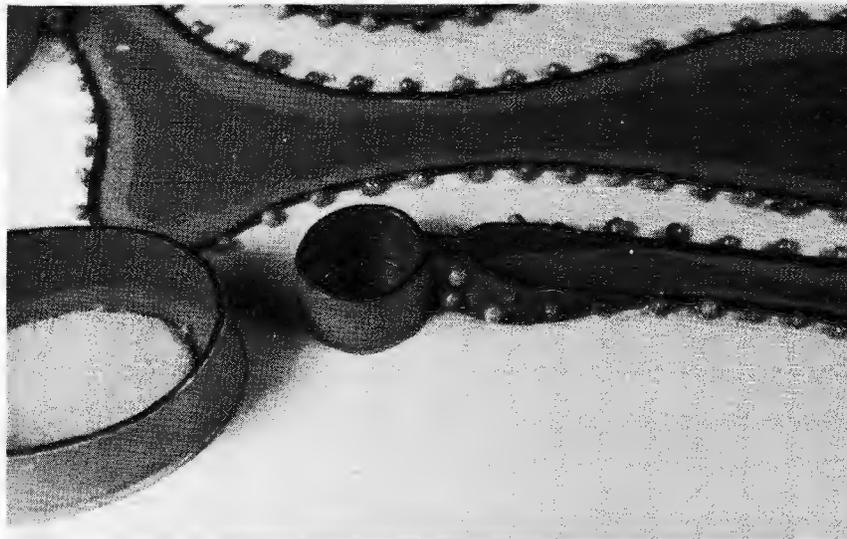


Fig. 36. Relación de las microvesículas del aparato de Golgi con el retículo endoplásmico rugoso.

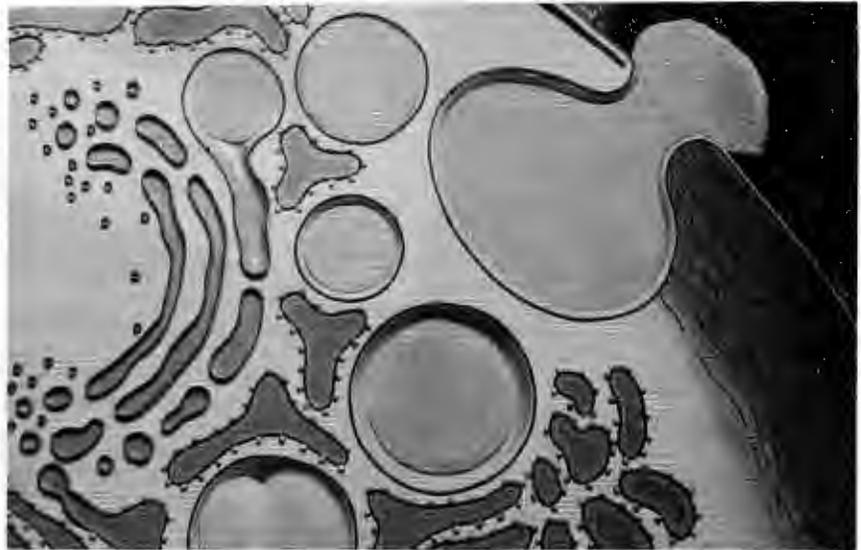


Fig. 37. Formación de vesículas secretorias en el aparato de Golgi a partir de las vesículas aplanadas. Notese también una vesícula abriéndose al exterior para expulsar la secreción.

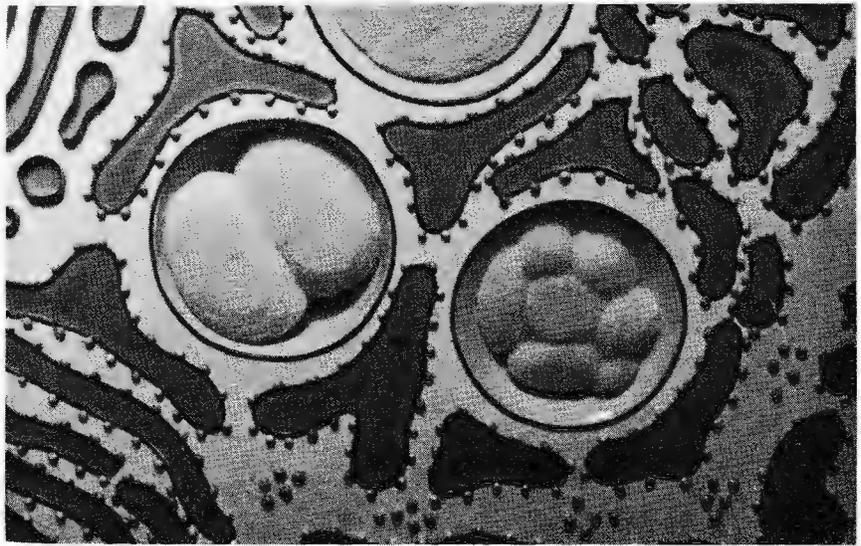


Fig. 38. Vesículas confluientes que almacenan mucígeno.

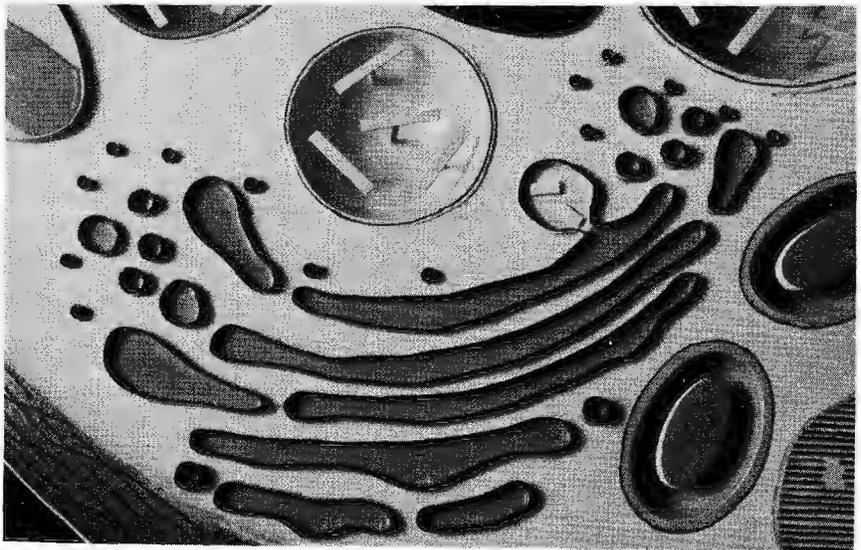
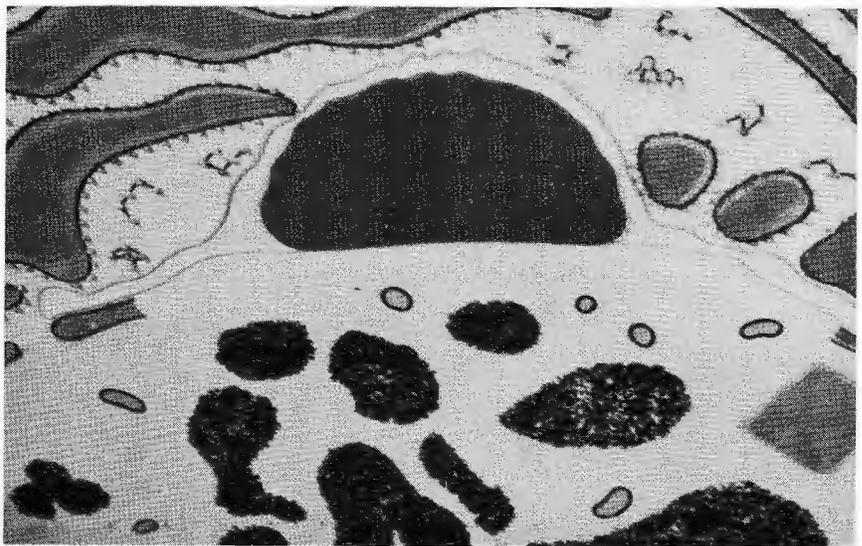


Fig. 39. Formación de la membrana de un lisosoma a partir del aparato de Golgi.

Fig. 40. Formación del gránulo acrosómico dentro de una vesícula del aparato de Golgi durante el proceso de la espermatogénesis.



de células están rodeadas por sustancia intersticial, es decir por "sustancia base" (ácido hialurónico) y la inmensa mayoría de los epitelios descansan sobre una membrana basal. En el modelo se han representado dos tipos diferentes de cubiertas externas de la célula. Uno es la membrana basal (fig. 6), con sus dos capas: la lámina fibrosa (fig 21) y la lámina amorfa (fig. 6).

En algunos sitios, como a nivel de los capilares del gomérulo renal, la membrana basal es sólo amorfa. El segundo tipo de cubierta es el que rodea a las mi-

crovellosidades de las células epiteliales del tubo contorneado proximal del riñón y a las microvellosidades del intestino. En el modelo lo representamos rodeando tres microvellosidades (fig. 22). La célula de Schwann que envuelve a grupos de axones amielínicos presenta también una cubierta de material amorfo denominada lámina externa, glicocáliz o manto glucoproteínico.

Una especialización de la superficie de la célula que sirve para unir epitelios es el llamado "complejo de unión" y que corresponde a las "barras terminales" de

la citología clásica. Tiene tres elementos: a) la zónula *occludens*, b) la zónula *adherens* y c) la mácula *adherens*. Esta última es en todo semejante a los "desmosomas" que pueden ocurrir aislados. En el modelo representamos un complejo de unión con el fragmento de esfera situado a la derecha de la célula (fig.). Una diferenciación muy especial de la membrana plasmática es la "vaina de mielina" que rodea a gran número de fibras nerviosas.

La membrana plasmática también presenta diferenciaciones pasajeras asociadas a procesos acti-

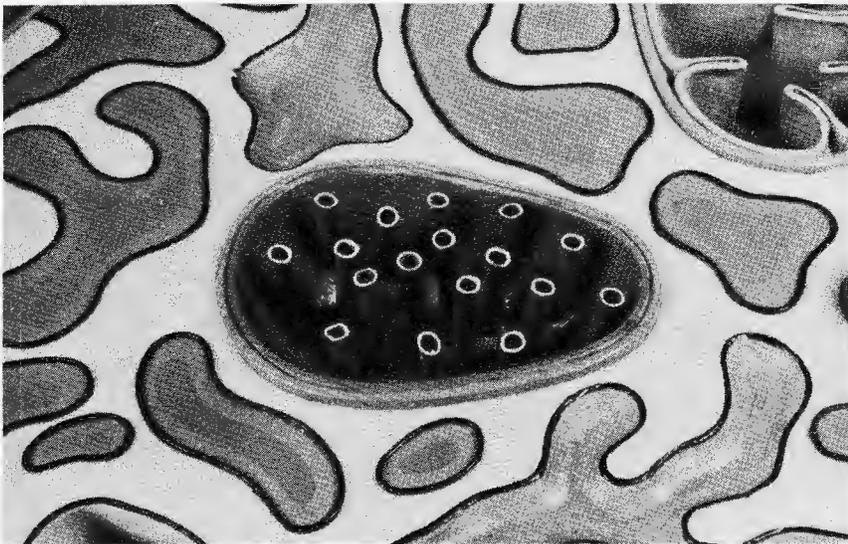


Fig. 41. Mitochondria tubulosa.

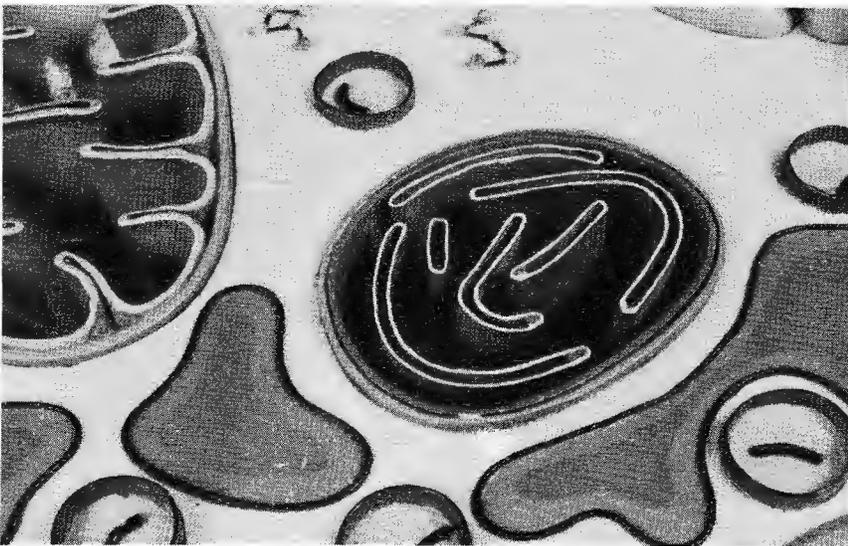


Fig. 42. Peculiar disposición de las crestas mitocondriales en algunos tipos de mitocondrias.

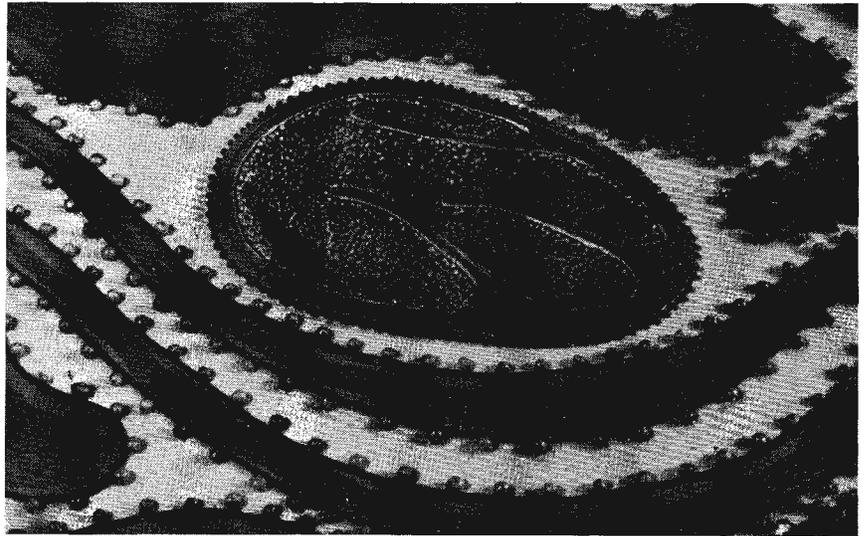


Fig. 43. Mitocondria con partículas elementales recubriendo la superficie interna de las cresta mitocondriales.

vos de superficie, por ejemplo la fagocitosis y la micropinocitosis, ya que la pinocitosis como se observa en células en cultivo de tejidos no es frecuente observarla con el microscopio electrónico. En el modelo hemos representado algunas vacuolas de fagocitosis al representar las vesículas "endocíticas" que forman los fagosomas sobre los que actúan los lisosomas (fig. 24). También hemos representado dos pliegues ondulares que se unen para formar una vesícula pinocítica (fig. 25). Otra diferenciación pasajera sería el "burbujeo" que presentan las células al final de la división celu-

lar representada en la (fig. 26). Finalmente, entre las diferencias permanentes de la membrana celular hay que mencionar aquellas que amplían mucho la superficie y que en general corresponden a microvellosidades de diversos tipos. Además de las que mencionamos, que están cubiertas por material amorfo, muchas células presentan algunas salientes que no están revestidas (fig. 27). En el modelo ilustramos otros tipos más de microvellosidades con caracteres especiales. Una de ellas tiene los extremos globosos como las que muestran las células epiteliales de los plexos coroides.

Han sido llamadas "microvellosidades en clava". El otro tipo es el de microvellosidades tres o cuatro veces más larga que las otras, las cuales fueron confundidas con cilios sin movimiento (esterocilios) y son típicas de las células epiteliales del epidídimo (fig. 28). Algunas microvellosidades presentan filamentos que les sirven para anclarse en la tela terminal (fig. 29).

2. El *retículo endoplásmico*. Es un sistema más o menos continuo de cavidades limitadas por membranas que se ramifican por todo el citoplasma y no sólo en el endoplasma como implica su nombre. Varía mucho en extensión y

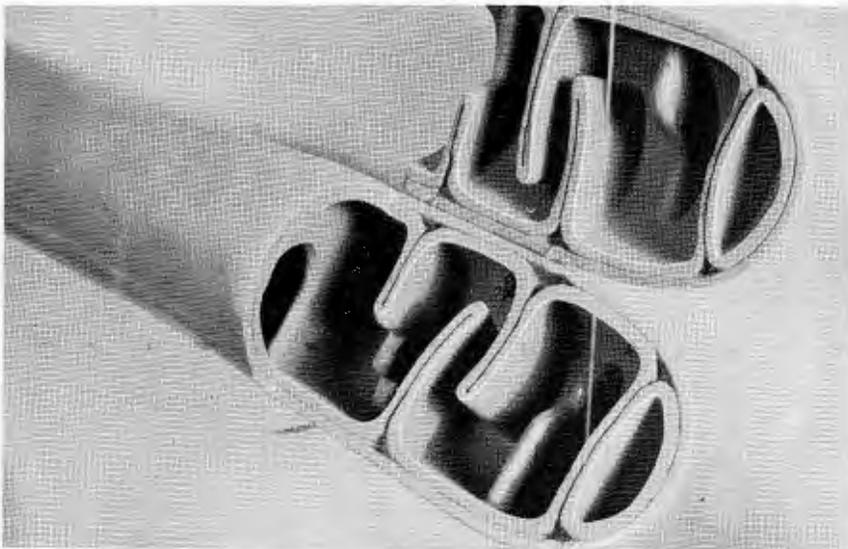


Fig. 44. Mitocondria en volumen que se puede abrir para observar las crestas mitocondriales.

configuración en distintos tipos de células. Las formas más típicas son: a) túbulos que se anastomosan formando una red irregular y b) expansiones saculares aplanadas que también han sido llamadas "cisternas", las cuales pueden ocurrir solas o formando conjuntos laminares más o menos uniformes y paralelos; c) vesículas aisladas no continuas con los otros elementos de diferente tamaño.

Se distinguen dos tipos de retículo endoplásmico: a) el granuloso o de superficie rugosa y b) el liso o agranular. La superficie externa de las membranas del retículo endoplásmico rugoso presen-

ta muchos ribosomas adheridos. Gran número de vesículas de este tipo imparten al citoplasma una apetencia tintorial para los colorantes basófilos, constituyendo el llamado "ergastoplasma" de la citología clásica. Los grumos de Nissl son un buen ejemplo de agregados de vesículas de retículo endoplásmico rugoso. Esta forma del retículo es muy notorio en células que elaboran productos ricos en proteínas como las células glandulares, por ejemplo, las del páncreas, o las células plasmáticas. La estrecha asociación de ribosomas con las membranas del retículo parece ser necesaria sólo cuan-

do se expulsa el producto de la síntesis protéica como una secreción (figs. 30, 31, 32).

El retículo endoplásmico liso probablemente tiene otra composición en sus membranas y sus funciones bioquímicas son también diferentes. Suele asociarse al aparato de Golgi. En el hígado parece intervenir en los mecanismos de desintoxicación, en el metabolismo de algunos lípidos y del colesterol. En el testículo, ovario y suprarrenales interviene en la síntesis de hormonas esteroideas (fig. 33).

3. El aparato de Golgi. Una de las grandes ventajas que derivan del uso de los modelos, es que

Fig. 45. Detalle a mayor aumento de las partículas elementales y partículas hipotéticas sobre la superficie de la mitocondria de compuestos que suministrarían electrones al interior de la mitocondria.

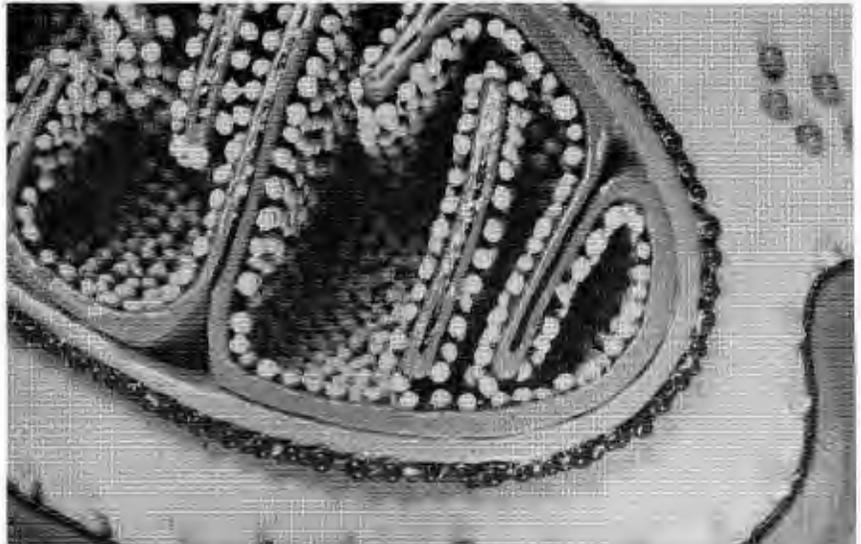
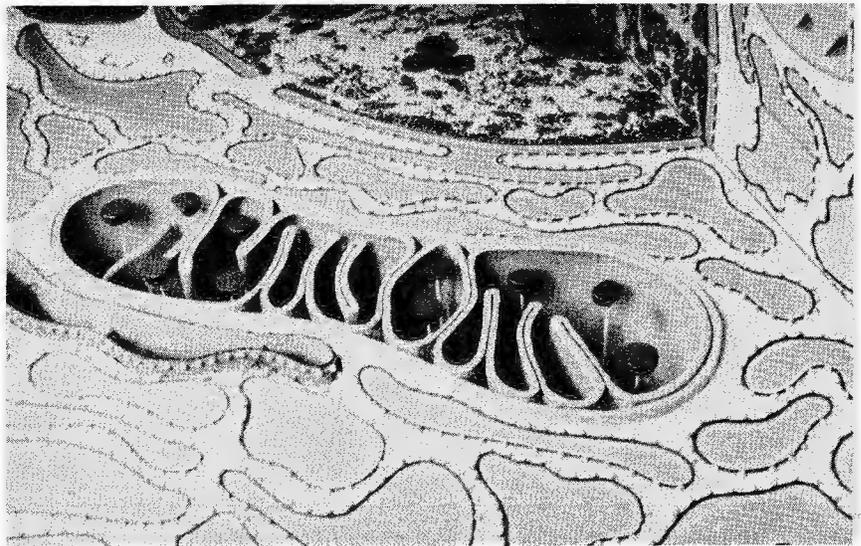


Fig. 46. Mitocondria con cuerpos densos osmiófilos en el interior.



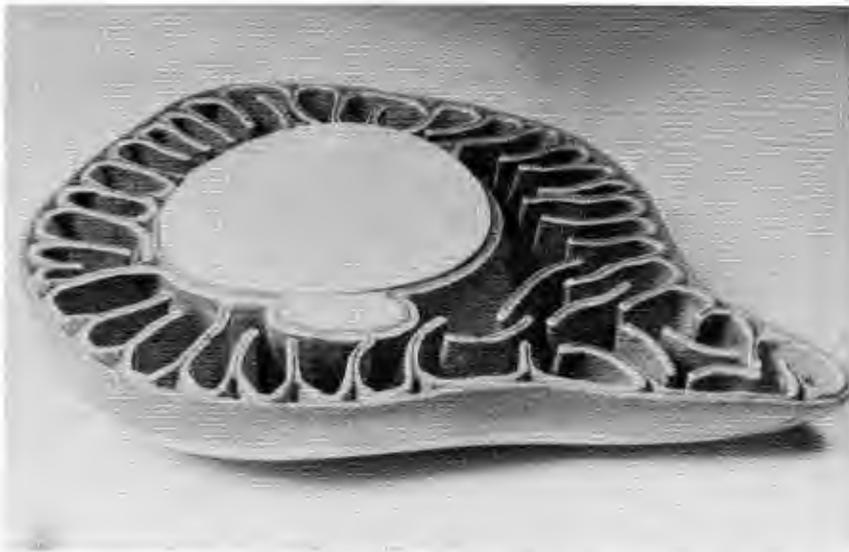


Fig. 47. Mitocondria rodeando una inclusión de grasa.

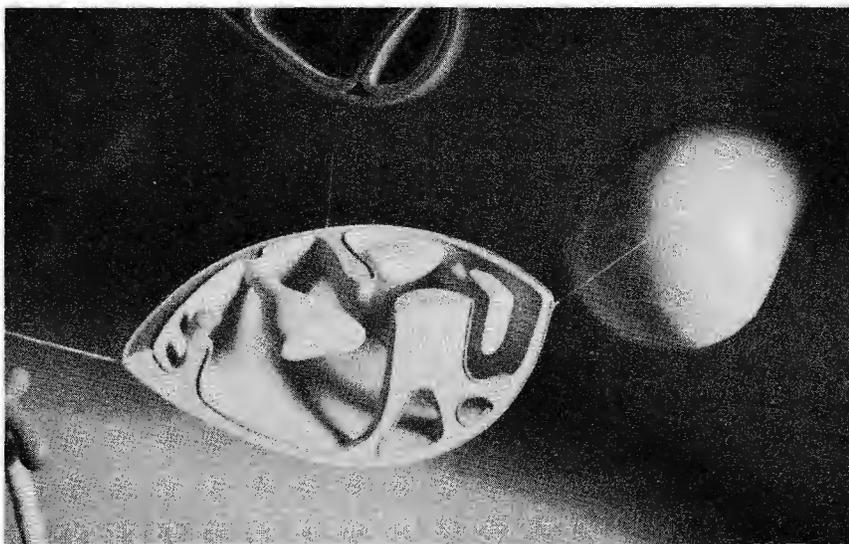


Fig. 48. Fragmento de mitocondria que muestra la reconstrucción de las crestas mitocondriales como se hizo en un trabajo reciente por medio de cortes seriados de una mitocondria.

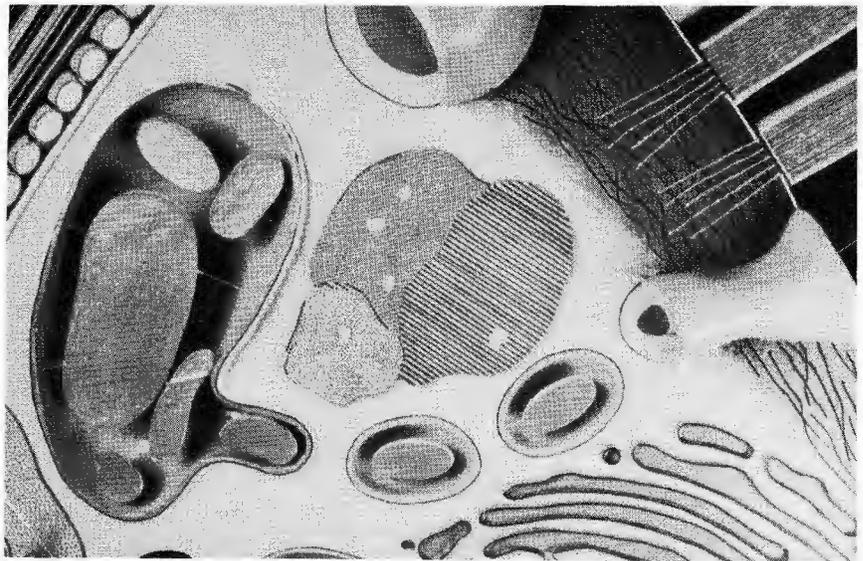


Fig. 49. Formación de un fagosoma por la reunión de varias vesículas endocíticas.

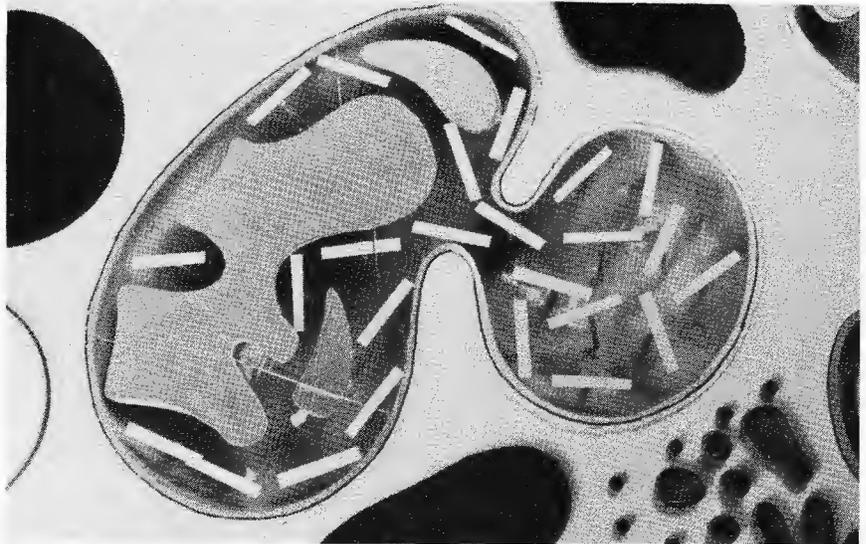


Fig. 50. Unión de un lisosoma (vesícula o gránulo de almacenamiento de enzimas hidrolíticas) a un fagosoma para formar una vacuola digestiva.

permiten al alumno formarse una idea inmediata y global de la disposición, forma, tamaño y situación en relación a otros elementos, de distintas estructuras. La peculiar estructura del aparato de Golgi con sus tres tipos de vesículas lisas (microvesículas, vesículas aplanadas concéntricas y vesículas secretorias) es un buen ejemplo de ello.

Lo hemos representado en volumen (fig. 34) al corte (fig. 35) y tomando parte en el proceso activo de la secreción celular, en su relación con el retículo endoplásmico rugoso (fig. 36) en la formación de vesículas secretorias (fig. 37), y

posteriormente como vesículas distendidas almacenando gránulos de secreción de diverso tipo (fig. 38). Asimismo, se le representa formando, tal vez, las membranas lisas de los lisosomas (fig. 39), y como vesícula abriéndose al exterior para expulsar la secreción (fig. 37). También representamos una vesícula del aparato de Golgi que interviene en el proceso de la espermiogénesis (transformación de espermátide en espermatozoide) y que forma el capuchón cefálico del espermatozoide. En su interior se condensa el nódulo acrosómico (fig. 40).

4. Las *mitocondrias*. Hasta que

fue posible separar a las mitocondrias por medio de la centrifugación llamada "diferencial" de células rotas por medio de un homogeinizador (Bensley y Hoerr, 1934) se pudo obtener información válida sobre la naturaleza química y funciones de las mitocondrias. Este método de aislamiento de mitocondrias de las células, en cantidad suficiente para los análisis químicos, fue perfeccionado durante la siguiente década y multitud de investigadores, entre los que es necesario destacar a Green, Lehninger y Kennedy, demostraron que las mitocondrias son el sitio principal donde se llevan al cabo

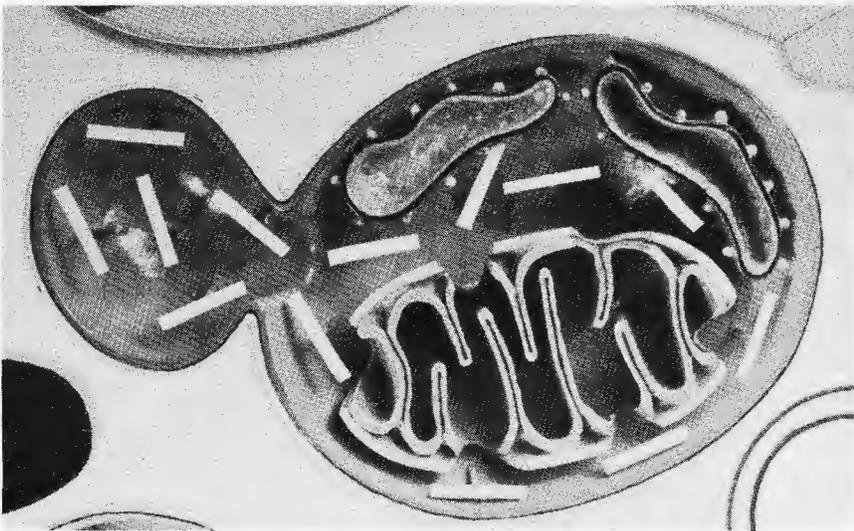


Fig. 51. Vesícula autofágica. Nótese una mitocondria parcialmente desintegrada y dos vesículas de retículo endoplásmico rugoso. Los rectángulos blancos representan a las enzimas.

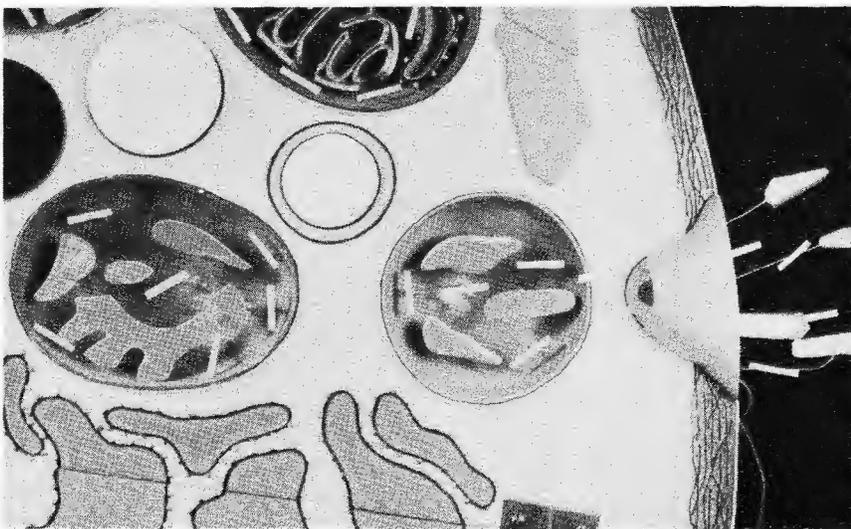


Fig. 52. Formación del cuerpo residual y "defecación" del mismo.

Fig. 53. Cuerpo residual con figuras de mielina.

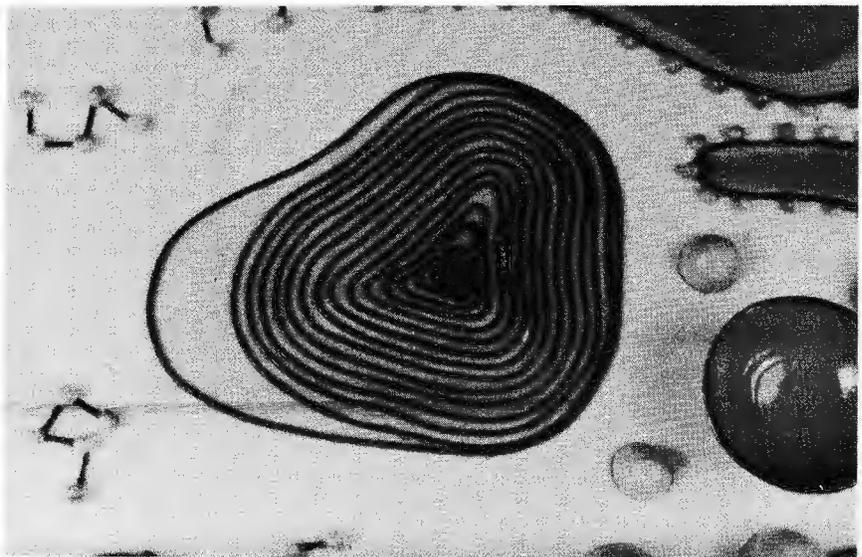
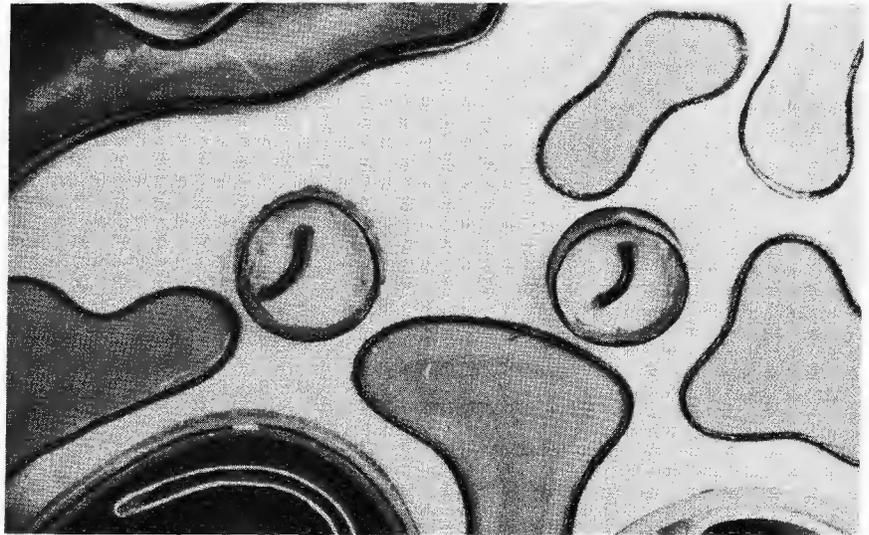


Fig. 54. Dos microcuerpos.



las reacciones oxidativas por las cuales se extrae energía de los alimentos. Esta energía se almacena como energía química en compuestos como el ATP y los utiliza la célula en las diferentes reacciones metabólicas.

Por otra parte, la microscopia electrónica reveló en 1953 gracias a los trabajos de Palade y de Sjöstrand, la organización estructural tan característica de las mitocondrias que consiste en dos membranas y dos compartimentos, el mayor de los cuales contiene la llamada "matriz mitocondrial". La mitocondria está rodeada por una membrana externa. Por den-

tro de ésta y separada por un espacio, (cámara externa), existe una membrana interna que envía hasta la cavidad mitocondrial pliegues complejos denominados "crestas mitocondriales". La membrana interna limita la "cámara interna" ocupada por la matriz. El mecanismo mediante el cual se genera la energía reside en la cadena de citocromos acoplada al ciclo de Krebs. Las enzimas que intervienen en las diferentes reacciones están dispuestas en una configuración especial particular que favorece la cadena de reacciones del ciclo. Aunque todas las mitocondrias tienen la estructura básica

ya descrita, hay muchos tipos de mitocondrias de diferentes tamaños y con diferente disposición de las crestas mitocondriales. En el modelo hemos representado varios de estos tipos (figs. 40 a la 48). En una de las mitocondrias se han representado los pequeños gránulos densos que se ven en la matriz mitocondrial en algunos tipos celulares (fig. 46). Asimismo, en otra mitocondria se han representado las "partículas elementales" descubiertas por Fernández Morán (fig. 43, 45), por medio de la tinción negativa. Estas partículas son redondas y presentan un pequeño tallo y tal vez corresponden

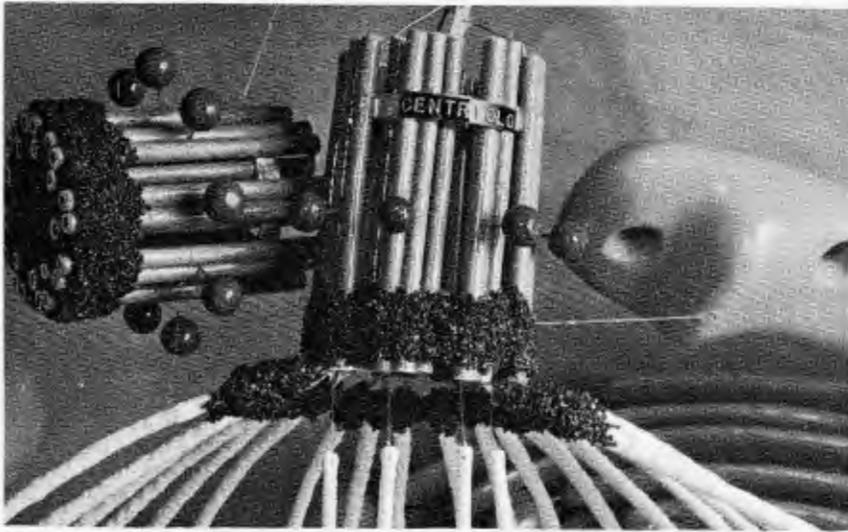


Fig. 55. Los dos centriolos en uno de los polos del huso acromático que han organizado. Nótese las tripletas de tubos que forman la pared y los cuerpos pericentriolares.

al sistema de transferencia de electrones a lo largo de una cadena de compuestos químicos que sintetizan moléculas de trifosfato de adenosina (ATP). Asimismo, se han representado sobre la membrana externa partículas redondeadas adheridas que no muestran tallo y que no han sido demostradas todavía con el microscopio electrónico pero que los químicos suponen corresponden a compuestos que intervienen en diversas reacciones de oxidación que traen como resultado el suministro de electrones al interior de la mitocondria. Estas últimas partículas se han representado cubriendo la superfi-

cie de una mitocondria en volumen. Recientemente se publicó un trabajo que muestra cortes seriales de una mitocondria y que permitió a los autores hacer la reconstrucción en volumen de la forma y disposición de las crestas mitocondriales. Nosotros hemos hecho el modelo tomando como base dicha reconstrucción (fig. 48).

5. Los lisosomas. Un lisosoma es una vesícula, limitada por una membrana, conteniendo un cierto número de enzimas hidrolíticas. Sin embargo, los lisosomas presentan gran heterogeneidad. Aunque fueron vistos con el microscopio diferencial, fue labor de los bioquí-

micos averiguar las funciones que desempeñan. El nombre que llevan hace hincapié en que contienen enzimas que desintegran o lisan. Hasta el presente se han aislado alrededor de 10 hidrolasas ácidas. También se ha señalado que diversos tipos de partículas pueden tener actividad hidrolítica y que es difícil identificar un lisosoma sólo en bases morfológicas. En el modelo se han representado diversos tipos de lisosomas en la secuencia en que su descubridor Christian de Duve considera que evolucionan desde su formación hasta la expulsión de los productos de desintegración fuera

Fig. 56. Tela terminal en la periferia de la célula. Se ha representado la probable condensación del citoplasma oscureciendo el fondo. Nótese los hacesillos de filamentos dispuestos paralelamente a la superficie.

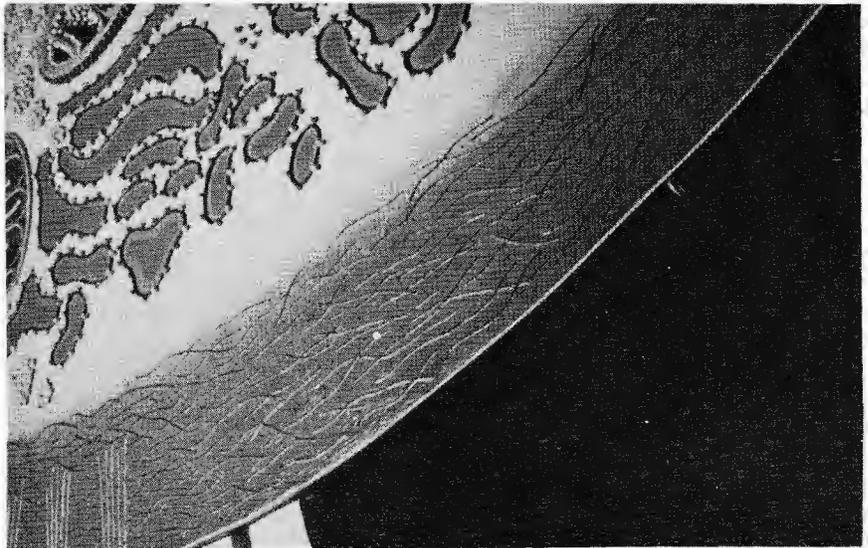


Fig. 57. Además de la tela terminal se representan los haces de finos filamentos como los que se ven en las células neuroglicas.

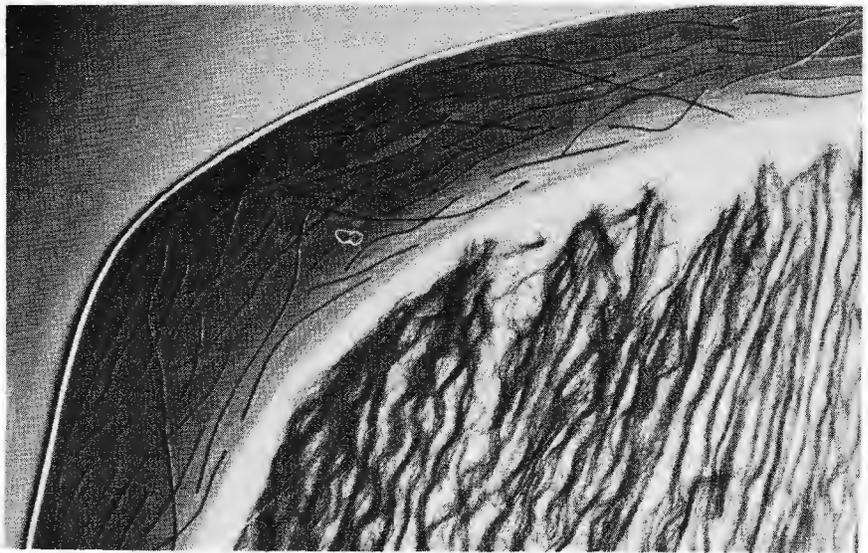
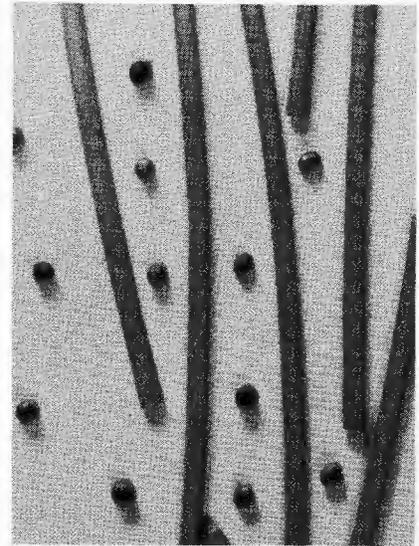


Fig. 58. Representación esquemática de microtúbulos en disposición longitudinal y cortados transversalmente como se observan en este último caso en las fibras nerviosas.



de la célula ("defecación"). Se cree que las enzimas hidrolíticas son sintetizadas en el retículo endoplásmico. Tal vez la membrana lisa que las contiene se forme a partir del aparato de Golgi (fig. 39). Las partículas fagocitadas se unen constituyendo un fagosoma (fig. 49). La vesícula o gránulo de almacenamiento de enzimas hidrolíticas se une al fagosoma para constituir la vacuola digestiva (fig. 50). También puede formarse una vacuola digestiva si el gránulo de almacenamiento se une a una vacuola autofágica (que ha fagocitado elementos propios de la célula tales como porciones de retículo endoplásmico, mitocondrias, etc.) (fig. 51). Después que han actuado las enzimas, los restos que quedan dentro de la vesícula constituyen el llamado "cuerpo residual" (fig. 52), que se expulsa. En ocasiones el cuerpo residual adopta un aspecto con láminas concéntricas que ha sido llamado figuras de mielina (fig. 53).

6. Los *microcuerpos*. Estos orgánitos son los últimos que han sido descubiertos. Se les observó en células hepáticas. En algunos animales contienen enzimas, como la uricasa. Al microscopio electrónico presentan un material central mu-

cho más denso en forma de barra (fig. 54). Se ignora qué función desempeñen en el hombre.

Hasta aquí las citomembranas. Ya hemos señalado que probablemente la membrana nuclear se forme a partir del retículo endoplásmico. Veamos ahora los otros orgánitos del citoplasma.

1. Los *ribosomas*. Los ribosomas son partículas de proteínas conjugadas compuestas por ribonucleoproteínas y proteínas que llevan al cabo la síntesis proteica en las células. Durante este proceso se unen los diferentes aminoácidos en un determinado orden para formar cadenas de polipéptidos. Los ribosomas llevan al cabo esta función en combinación con otros dos tipos de ARN (el mensajero y el de transferencia). El ARN ribosomal muy probablemente se sintetiza y se acumula en el nucleolo y, como señalamos al referirnos al núcleo, los ribosomas pasarían al citoplasma en donde, o bien se adosarían a las vesículas del retículo endoplásmico convirtiéndolas de este modo en retículo endoplásmico rugoso, o bien quedarían libres, ya sea aislados o en pequeños grupos. En el modelo los hemos representado en el nucleolo, a nivel del

poro nuclear saliendo del núcleo, adosados a las vesículas de retículo endoplásmico (fig. 30), una de las cuales puede separarse del modelo, y en volumen en el espacio del cuarto de esfera posterosuperior (fig. 32). La representación del ARN mensajero asociado al ribosomal se hizo con polirribosomas, uno de los cuales puede desprenderse del modelo (fig. 12).

2. El *centro celular* (*centrosoma*). Con el microscopio de luz el centro celular o centrosoma se observa como dos puntos disminuidos rodeados por un halo claro de citoplasma. Este orgánito casi siempre se encuentra cerca del núcleo, hacia el centro de la célula si el núcleo lo permite y a menudo se halla rodeado por el aparato de Golgi. Los dos gránulos han recibido el nombre de centriolos y al iniciarse la mitosis se duplican con lo cual cada célula hija tiene al separarse su propio par de centriolos. La función de los centriolos es la de organizar material fibrilar dentro de la célula como los filamentos (que ahora sabemos son microtúbulos) que forman el huso acromático y los que tienen los cilios y los flagelos. En la base de cada cilio siempre hay un centriolo que recibe el nombre de cuer-



Fig. 59. A un lado de la mitocondria pueden verse acúmulos de gránulos de color azul que representan glucógeno.

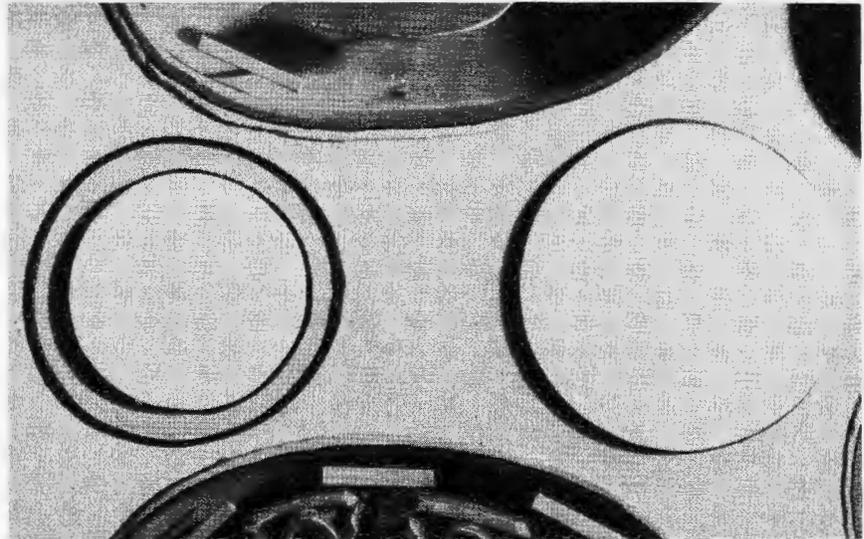


Fig. 60. Representación de dos inclusiones de lípidos. Una se encuentra rodeada por una membrana y representaría una pequeña gota de grasa como la que se observa durante el proceso de absorción de lípidos. La otra sin membrana representaría material graso producido dentro de la célula.

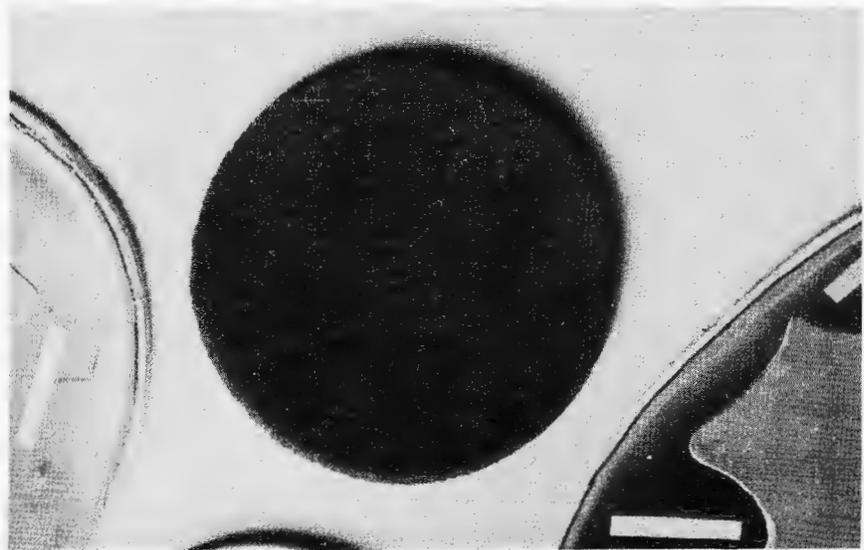


Fig. 61. Inclusión de melanina perfectamente redondeada como se observa en las células del epitelio pigmentado de la retina.

Fig. 62. Gránulo de tipo "simple" de una célula cebada humana. Al parecer no tiene membrana propia. Nótese la disposición regular en espiral en algunas porciones del gránulo.

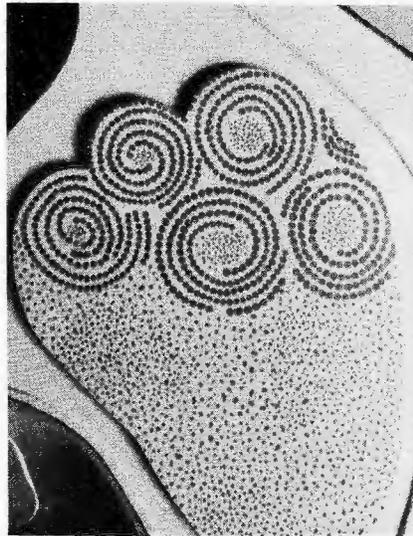
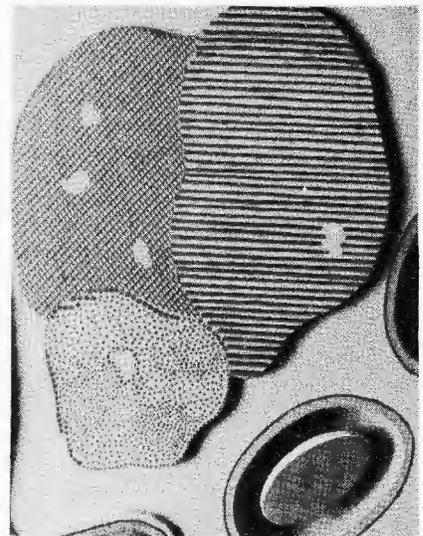


Fig. 63. Gránulo del tipo compuesto de una célula cebada humana.



po basal. En la única célula flagelada del cuerpo humano (el espermatozoide) existe, en la base del flagelo, un par de centriolos que se describirán más adelante. La microscopía electrónica ha revelado una extraordinaria estructura en estos diminutos puntos de la microscopía de luz. Se trata de estructuras cilíndricas huecas cuya pared está formada por nueve triplete de túbulos suspendidas en un material denso. Cada triplete forma un ángulo como de 30° con respecto a una tangente en la superficie del cilindro. Otra cosa notable de los centriolos es que

se disponen uno con respecto al otro formando un ángulo de 90° . Además suelen presentar pequeñas salientes que generalmente terminan en un extremo redondeado. Estas salientes se han denominado "satélites pericentriolares". En el modelo hemos representado un par de centriolos tal como se disponen durante la división celular habiendo organizado el huso acromático.

3. *Filamentos y túbulos citoplasmáticos* En tiempo recientes, conforme se ha ido perfeccionando la técnica de la microscopía electrónica, se ha visto que multi-

tud de tipos celulares presentan filamentos y microtúbulos. Es posible que constituyan un elemento universal del hialoplasma en todas las células. Estarían relacionados en forma de un armazón o citoesqueleto a la célula para dar rigidez a ciertas áreas de ella. Ya la citología clásica había hecho referencia a varios tipos de filamentos como las epiteliofibrillas o tonofibrillas, la fibrogliosa o sea fibrillas en células neuróglícas, las neurofibrillas, etc., y a ciertos elementos como barras terminales que se consideraba material de cemento por fuera de la célula, pero que

Fig. 64. Gránulo de un eosinófilo. Nótese la condensación cristalóide en la parte central.

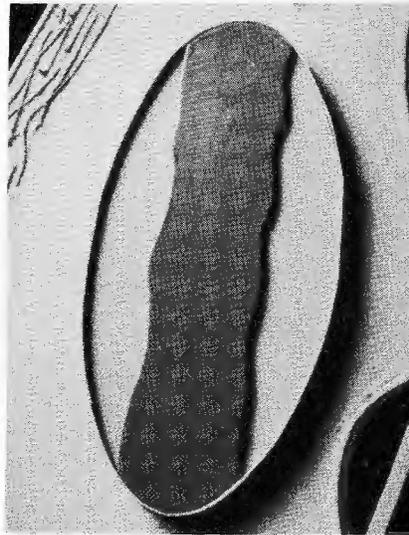
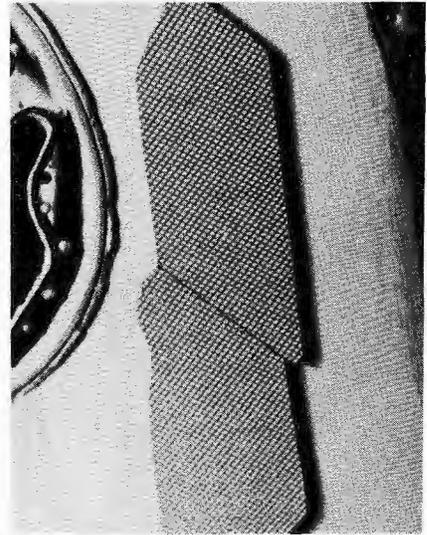


Fig. 65. Dos cristales de Reinke de las células intersticiales del testículo.



probablemente corresponden a los filamentos internos de lo que se designa como "tela terminal". Filamentos muy especiales son los que forman a las miofibrillas y que son el sustrato de la contracción muscular. Sus múltiples detalles morfológicos pensamos representarlos en un modelo especial. Son también microtúbulos los que presenta el espermatozoide. Antes se pensaba que era único y que era un filamento, el llamado "filamento axial". Estos y los que presentan los cilios, los descubrimos al referirnos a estas estructuras. En el proceso de la división celular señalaremos los mi-

crofibrillas, aunque este último nombre se empleaba más para las fibrillas que presentaban las células del estrato germinal y que parecían meterse en la membrana basal como fibras de Herxheimer. Se pensaba que las tonofibrillas estaban relacionadas con la queratinización. Se presenta también a las gliofibrillas o filamentos gliales de las células neuróglías. Los "neurofilamentos" y "nerotúbulos" no parecen diferir de los filamentos y microtúbulos de otras células.

crotúbulos del huso acromático que organizan los centriolos. En el modelo hemos representado los filamentos que contienen las microvellosidades y que sirven para anclarlas según ya mencionamos (fig. 56); la tela terminal con condensación al proceso del citoplasma y conteniendo haces de filamentos dispuestos paralelamente a la superficie y los haces de tono, filamentos que van a terminar a la parte densa de los desmosomas (fig. 29). A estos haces de filamentos que van de una a otra saliente o espina en el estrato "espinoso" de la piel es a lo que se designó como epiteliofibrillas o to-

nofibrillas, aunque este último nombre se empleaba más para las fibrillas que presentaban las células del estrato germinal y que parecían meterse en la membrana basal como fibras de Herxheimer. Se pensaba que las tonofibrillas estaban relacionadas con la queratinización. Se presenta también a las gliofibrillas o filamentos gliales de las células neuróglías. Los "neurofilamentos" y "nerotúbulos" no parecen diferir de los filamentos y microtúbulos de otras células.

IV. Inclusiones Citoplasmáticas

Las inclusiones del citoplasma

Fig. 66. Base del cilio con "raicillas" y cuerpo basal (centriolo) desmontable. Nótese las tripletas de túbulos del cuerpo basal. Por arriba arrancan el par central (más claro) y los nueve pares periféricos.

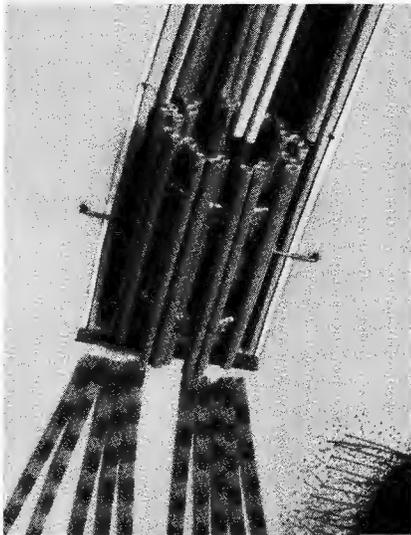


Fig. 67 Parte media del cilio mostrando el par central y los nueve pares periféricos. El par central sobresale en la interrupción del cilio.

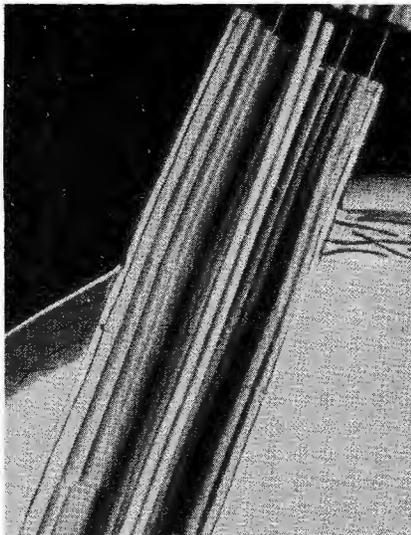
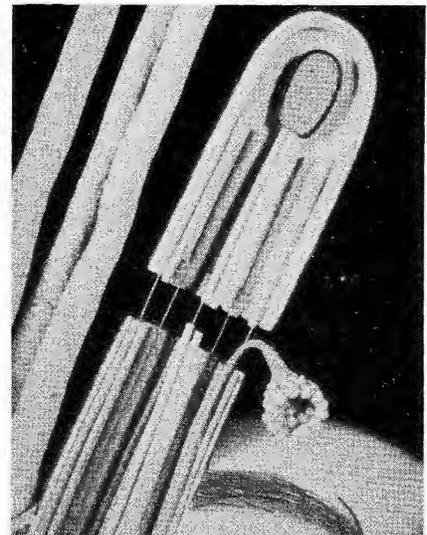


Fig. 68. Porción terminal del cilio. La interrupción señala que el cilio es de mucho mayor longitud. Nótese la terminación de los tubos centrales y periféricos. En uno de los microtúbulos del cilio se representan en forma progresivamente agrandada. La nueva "sub-unidad" del túbulo descubierta recientemente para los microtúbulos del flagelo de ciertas especies, pero que verosíblemente es probable que se pueda encontrar en cilios, en centriolos y en general en microtúbulos.



son materiales inertes de la célula y son de tres tipos: a) Material alimenticio almacenado, b) gránulos de secreción, c) pigmentos y d) cristales.

a) Los alimentos o sustancias nutritivas almacenadas pueden ser: carbohidratos, lípidos y proteínas. En el modelo hemos representado los gránulos de glucógeno como se observan en las células hepáticas (fig. 59). Los lípidos han sido representados en dos formas: como productos de absorción rodeados por membranas (fig. 60) y libres en el citoplasma por haber sido producidos dentro de la cé-

lula (fig. 60). Las proteínas son el material principal de que están hechas las células y no quedan aisladas como inclusiones.

b) Los gránulos de secreción son mucho muy variados. Piénsese que los diferentes productos de secreción tales como el moco, las enzimas digestivas, la leche, el ácido clorhídrico, las lágrimas, son producidos por células especializadas. La neurosecreción y simplemente la transmisión química del impulso nervioso implica secreción de productos. Las células del tejido conjuntivo "secretan" activamente sustancias intercelulares

amorfas como el ácido hialurónico que forman la sustancia base o sustancias intercelulares fibrosas, como las fibras colágenas, reticulares, o elásticas. Sin embargo, no todas las actividades secretoras de las células van acompañadas de un acúmulo visible del producto en el citoplasma. En el modelo hemos representado gránulos de secreción del tipo gránulo de zimógeno como los que se observan en el páncreas o en las células de las glándulas salivales serosas. Los hemos representado en toda su evolución: paso del retículo endoplásmico rugoso a las microvesicu-

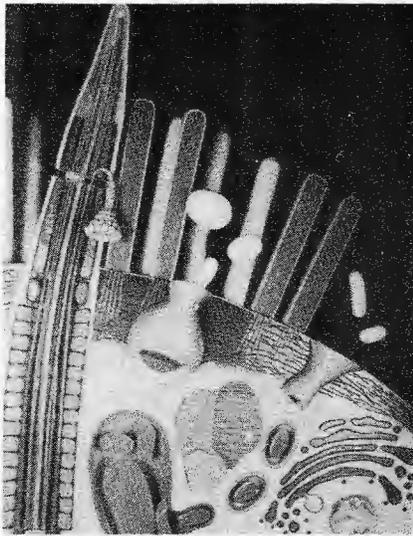


Fig. 69. Foto panorámica de la estructura general del flagelo.

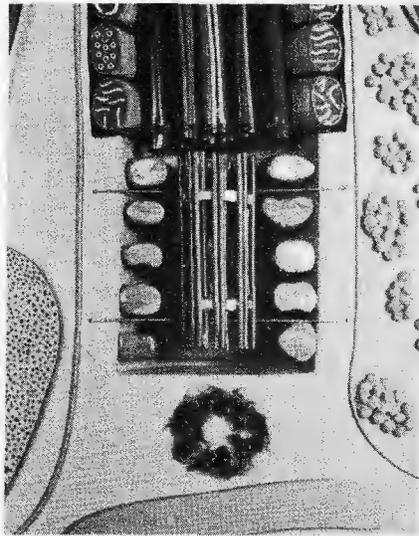


Fig. 70. Fotografía que muestra parte del segmento proximal de la cola de un espermatozoide de mamífero. Se ve la porción proximal de la pieza intermedia. Inmediatamente por encima de la membrana nuclear vemos la placa basal, en seguida el centriolo proximal dispuesto de atrás hacia adelante con sus nueve triplets de tubos rodeados por material osmiófilo denso. Por encima vemos el centriolo distal de disposición longitudinal formando un ángulo de 90° con el inferior. Este centriolo puede ser removido sacando los alambres que lo sujetan a los lados, (como se ve en la siguiente fotografía). Rodean al centriolo los llamados cuerpos densos. Finalmente por arriba del centriolo arrancan los túbulos (nueve pares periféricos y dos centrales que constituyen el complejo axial filamentoso rodeado por nueve "fibras externas" densas que se cree son elementos contráctiles accesorios y por fuera de las fibras externas dispuestas circunferencialmente se observa la "vaina mitocondrial" en la que las mitocondrias están colocadas extremo con extremo, como salchichas y dispuestas en forma helicoidal. Por fuera se encuentra la membrana plasmática rodeando a la porción proximal de la pieza intermedia.

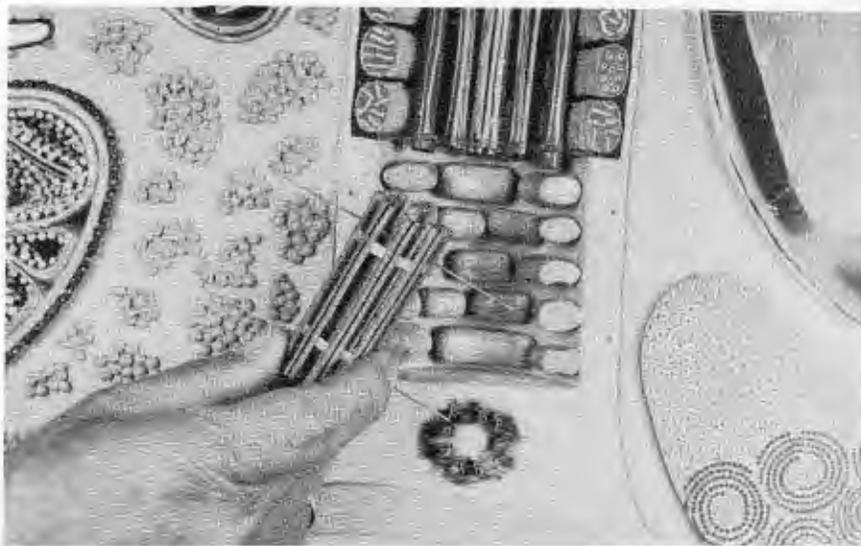


Fig. 71. Fotografía que muestra el centriolo distal que ha sido retirado y que permite ver los cuerpos densos que lo rodean. También permite examinar las nueve triplets de túbulos que forman el centriolo y permite ver el arranque de los nueve pares periféricos de túbulos del complejo axial y el par central.

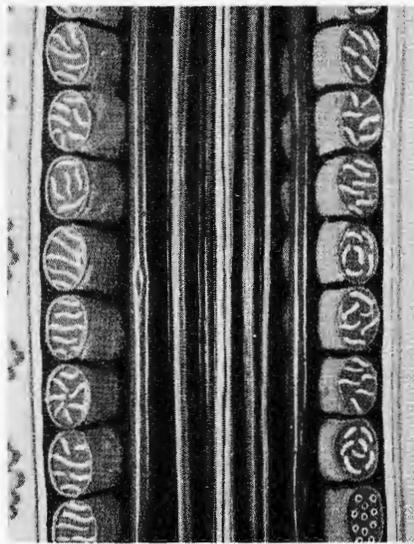


Fig. 72. Detalle que muestra la pieza intermedia con su complejo axial de túbulos, fibras externas vaina mitocondrial y membrana plasmática.

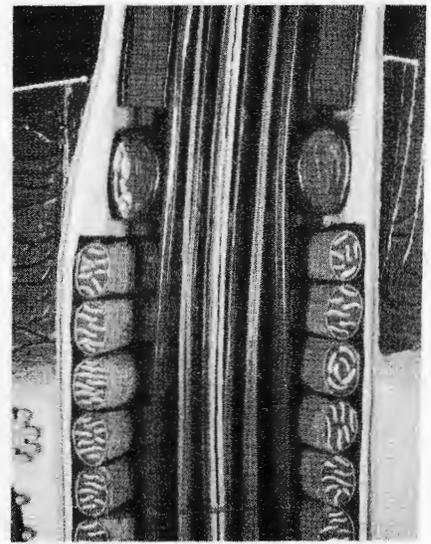


Fig. 73. Detalle que muestra el segmento distal de la pieza intermedia del espermatozoide de un mamífero y el arranque de la pieza principal de la cola. La transición la señala el estrechamiento que sufre la cola al terminarse la vaina mitocondrial, la cual es reemplazada por la vaina fibrosa. Entre las dos vainas (mitocondrial y fibrosa) existe una estructura anular (anillo) que en el modelo tiene color azul oscuro que contrasta mucho con el color naranja de la vaina mitocondrial. La vaina fibrosa tiene dos columnas longitudinales en lados opuestos de la cola en el plano del par central de túbulos. De estas columnas salen costillas circunferenciales. Por dentro de las costillas y de las columnas continúan las fibras externas, las cuales se reducen a siete al terminarse dos de las fibras en la primera parte de la pieza principal.

las del aparato de Golgi; formación de vesículas secretoras en dicho aparato; su acumulación en el extremo distal de la célula y al verter su secreción al exterior adosándose la membrana del gránulo a la membrana plasmática sin que haya en ningún momento comunicación del citoplasma con el exterior. También hemos representado los gránulos de mucígeno. Recuérdese que en este caso probablemente a nivel del aparato de Golgi se le agrega el azúcar a la proteína. La microscopia electrónica ha permitido el azúcar a la proteína. La microscopia electrónica ha per-

mitido reconocer con cierta seguridad diferentes tipos de células por la morfología de sus gránulos de secreción, por ejemplo los gránulos alfa y beta del islote de Langerhans, los de las células cromófilas de la hipófisis, los gránulos de las células argentafines, etc.

c) *Pigmentos.* Hay unas cuantas células en nuestro organismo que contienen gránulos de pigmentos que les dan coloración propia. Entre los pigmentos se encuentra la melanina que existe en los melanocitos de nuestra piel y en neuronas como las del *locus niger*, en

el epitelio pigmentado de la retina, etc. En nuestro modelo hemos representado algunos de estos gránulos muy densos, esféricos o de forma irregular (fig. 61). Otro pigmento que se ve con frecuencia es la lipofuchina como se observa en las neuronas de los ganglios autonómicos o en las células del miocardio.

d) *Cristales.* La microscopia electrónica ha revelado inclusiones cristalinas en muchos tipos de células y en casi todos los compartimentos de la célula (en el núcleo, en las mitocondrias, en el retículo endoplásmico, en el aparato de

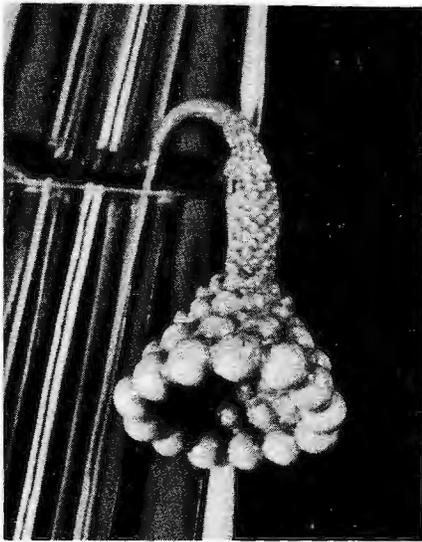


Fig. 74. Detalle para mostrar la constitución de uno de los túbulos o filamentos del complejo axial según lo han revelado recientes investigaciones. A muy grandes aumentos se ve que la pared de estos pequeños tubos está formada por la unión de elementos globulosos que constituyen la "sub-unidad del túbulo. Tal vez estas sub-unidades correspondan a agregados moleculares.

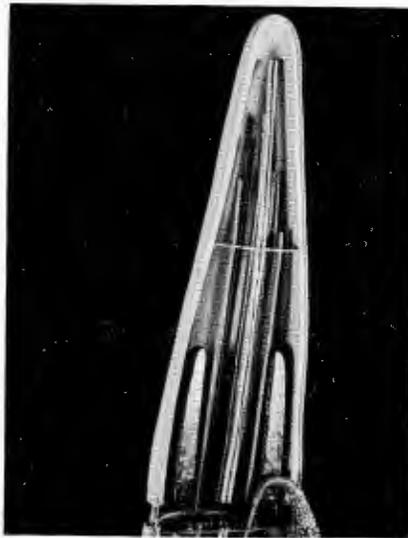


Fig. 75. Porción final de la cola del espermatozoide correspondiente a la llamada pieza o porción terminal. Nótese la interrupción a nivel de la pieza principal para representar su enorme longitud. Nótese también la interrupción de las columnas longitudinales y de las fibras externas, así como de los pares periféricos túbulos quedando en la última porción sólo el par central.

Golgi, en los gránulos de secreción y libres en la matriz citoplasmática). Algunas inclusiones cristalinas muy probablemente son gránulos de secreción, como es el caso de los cristales que se ha encontrado recientemente que contienen las células cebadas. Los dos tipos de gránulos (el simple y el compuesto) han sido representados en el modelo como los muestran las células cebadas de la encía humana (fig. 62). También hemos representado un cristal intramuscular (fig. 63) y los clásicos cristales de Reinke de las células intersticiales del testículo o células

de Leydig, que ya habían sido vistas desde el siglo pasado (fig. 65). Además, representamos los cristales que se forman en la parte central de los gránulos "maduros" de los leucocitos eosinófilos y que son muy parecidos a los gránulos de secreción de las células beta de los islotes de Langerhans, sólo que estos últimos son más pequeños que los gránulos del eosinófilo (fig. 64).

V. Fisiología Celular

Al realizar el modelo, una de nuestras más grandes preocupa-

ciones ha sido mostrar las distintas estructuras de la célula tal como se ven durante las actividades que ellas desempeñan. Es decir, todas las veces que hemos podido se han incluido ciclos completos de actividad celular o bien fases importantes de un proceso dinámico. Con ello esperamos que el alumno se quede con la impresión de que la estructura de la célula está en constante cambio al llevar al cabo sus distintas funciones.

Los procesos que se pueden explicar, por lo menos en parte, son los siguientes:

1. Con el esquema de la "unidad de membrana" y las diferentes modificaciones de la superficie celular (pliegues celulares, vesículas endocíticas, microvellosidades) pueden explicarse algunos de los fenómenos de la permeabilidad celular como transporte activo de sustancias, pinocitosis, fagocitosis, algunas formas de absorción (por ejemplo de lípidos utilizando los dos tipos de inclusión), etc.

2. Una gran parte del espacio del cuarto de esfera posterosuperior se ha dedicado al proceso de la división celular. Sólo se ha podido representar la metafase con la salvedad que los cromosomas

han sido representados en este proceso como se les observa con el microscopio de luz, pues en el núcleo de la cara horizontal los hemos representado como se les ve con el microscopio electrónico. Se ha hecho hincapié en la estructura fina de los centriolos y en el huso acromático. En este último se han representado los túbulos fusiformes y los túbulos continuos centrales. Los cromosomas se hallan en el plano ecuatorial y sólo están representados algunos de ellos.

3. Algunos aspectos de la respiración celular pueden explicarse utilizando los distintos tipos de mitocondrias.

4. También pueden hacerse algunas explicaciones sobre el mecanismo de la síntesis protéica utilizando la representación del nucleolo, de los ribosomas adosados al retículo endoplásmico y de los polirribosomas.

5. El proceso de digestión intracelular de cuerpos fagocitados del exterior o bien de elementos del citoplasma ha quedado representado en su totalidad tomando como ejemplo el esquema de De Duve.

6. También pueden explicarse varios aspectos de la biología ce-

lular de la secreción, la cual puede correlacionarse con los mecanismos de síntesis protéica.

7. El movimiento ciliar puede explicarse utilizando la representación de la estructura fina del cilio (fig. 66).

8. Consideraciones semejantes pueden hacerse sobre el movimiento flagelar tomando como base la estructura fina del flagelo el cual hemos representado con bastante detalle.

VI. Conclusión

¿Qué es una célula? Esta pregunta que hacemos en clase al iniciar y terminar el capítulo de citología, es contestada invariablemente al principio con definiciones que se han considerado más o menos clásicas como: "corpúsculo generalmente microscópico, dotado de vida individual y que consta de membrana, citomembrana y núcleo". Al finalizar la parte de citología los alumnos ya no están tan seguros de poder englobar en una sola frase todo lo visto en clase.

"Célula es todo esto que hemos explicado" —solemos decir a los alumnos— pero tal aclaración no les satisface. Evidentemente no es

fácil decir qué es una célula. Grundmann en su citología general dice que: célula "es un sistema vivo, específico, bien organizado, constituyendo en sí mismo una unidad orgánica armoniosa, capaz de almacenar energía y de duplicar moléculas y estructuras así como de producir otras nuevas. Ninguno de los elementos del sistema es superfluo. Los cromosomas con su estructura específica son absolutamente necesarios, como lo es el nucleolo y la membrana nuclear. También lo son las mitocondrias que llevan a cabo oxidaciones y lo son los centrosomas que contro-

lan la división de la célula y aun la matriz citoplásmica que parece ser el sustrato de todas las otras estructuras y realiza funciones metabólicas vitales. La célula es la unidad funcional más pequeña, compuesta por elementos que se compensan uno al otro en un equilibrio endógeno y se complementan el uno al otro para llevar a cabo las actividades de la vida: el metabolismo, la reproducción autóctona y las respuestas específicas a los estímulos".

Aunque no se pueda uno expresar con palabras, se debe tender a adquirir una idea general de lo

que es "la célula", pues todas las funciones que realiza nuestro organismo son la suma de las propias de las células o de sus productos. Todas las reacciones químicas que constituyen el metabolismo son las que se llevan al cabo dentro de las células o en las sustancias intercelulares y en los líquidos del cuerpo. Lo que se enferma en nuestro organismo son nuestras células y los medicamentos van a actuar sobre las células. Las funciones mentales de mayor jerarquía, como lo es la actividad creadora, son el resultado de la actividad de las células nerviosas.