

Atlas en Color y Texto de
Histología



LA CÉLULA

SUMARIO

Gráficos

- Gráfico 1-1 La célula p. 12
 Gráfico 1-2 Los orgánulos p. 13
 Gráfico 1-3 Membranas y transporte de membranas p. 14
 Gráfico 1-4 Síntesis y exocitosis de proteínas p. 15

Cuadros

- Cuadro 1-1 Funciones y ejemplos de proteínas G heterotriméricas
 Cuadro 1-2 Composición de los ribosomas
 Cuadro 1-3 Principales filamentos intermedios
 Cuadro 1-4 Etapas de la mitosis

Láminas

- Lámina 1-1 Célula típica p. 16
 Fig. 1 Células
 Fig. 2 Células
 Fig. 3 Células
 Fig. 4 Células
 Lámina 1-2 Orgánulos e inclusiones celulares p. 18
 Fig. 1 Núcleo y corpúsculos de Nissl. Médula espinal. Ser humano
 Fig. 2 Productos de secreción. Mastocito
 Fig. 3 Gránulos de cimógeno. Páncreas
 Fig. 4 Productos de secreción mucosos. Células caliciformes

- Lámina 1-3 Modificaciones de la superficie celular p. 20
 Fig. 1 Chapa estriada. Intestino delgado
 Fig. 2 Cilios. Trompa uterina
 Fig. 3 Estereocilios. Epidídimo
 Fig. 4 Puentes intercelulares. Piel
 Lámina 1-4 Mitosis, microscopias óptica y electrónica (ME) p. 22
 Fig. 1 Mitosis. Blástula de corégono
 Fig. 2 Mitosis. Blástula de corégono
 Fig. 3 Mitosis. Ratón (ME)
 Lámina 1-5 Célula típica, microscopia electrónica (ME) p. 24
 Fig. 1 Célula típica. Hipófisis (ME)
 Lámina 1-6 Núcleo y citoplasma, microscopia electrónica (ME) p. 26
 Fig. 1 Núcleo y citoplasma. Hígado (ME)
 Lámina 1-7 Núcleo y citoplasma, microscopia electrónica (ME) p. 28
 Fig. 1 Núcleo y citoplasma. Hígado (ME)
 Lámina 1-8 Aparato de Golgi, microscopia electrónica (ME) p. 30
 Fig. 1 Aparato de Golgi (ME)
 Lámina 1-9 Mitocondrias, microscopia electrónica (ME) p. 32
 Fig. 1 Mitocondrias. Riñón (ME)

Las células no solo constituyen las unidades básicas del cuerpo humano sino que también funcionan en la ejecución de todas las actividades que el cuerpo necesita para su supervivencia. Aunque hay más de 200 tipos celulares diferentes, la mayoría de las células tienen características comunes que les permiten desempeñar sus diversas funciones. El componente vivo de la célula es el **protoplasma**, que está subdividido en el **citoplasma** y el **nucleoplasma** (véanse los **Gráficos 1-1** y **1-2**). El protoplasma también contiene material inerte, como cristales y pigmento.

CITOPLASMA

Plasmalema

Las células tienen una membrana, el **plasmalema**, que sirve como barrera estructural selectiva entre la célula y su entorno. Esta bicapa fosfolipídica con **proteínas integrales** y **periféricas** y **colesterol** incluidos en ella funciona

- en el reconocimiento intercelular,
- en la exocitosis y la endocitosis,
- como sitio receptor para moléculas de transmisión de señales, como las **proteínas G** (**Cuadro 1-1**), y
- como iniciador y regulador del sistema de mensajeros secundarios.

Los materiales pueden introducirse en la célula por varios mecanismos, por ejemplo:

- **pinocitosis** (captación inespecífica de moléculas en una solución acuosa),
- **endocitosis mediada por receptores** (captación específica de sustancias, como las lipoproteínas de baja densidad) o
- **fagocitosis** (captación de material en partículas).

Los productos de secreción pueden abandonar la célula por dos mecanismos: **constitutivo** o **regulado**.

- La **secreción constitutiva**, que utiliza vesículas sin cubierta de clatrina, es el mecanismo por defecto que no necesita una señal extracelular para la liberación y, por ende, el producto de secreción (p. ej., procolágeno) abandona la célula de un modo continuo.
- La **secreción regulada** necesita la presencia de vesículas de almacenamiento recubiertas de clatrina, cuyo contenido (p. ej., pre-enzimas pancreáticas) solo se libera después de iniciado un proceso de transmisión de señales extracelular.

La fluidez del plasmalema es un factor importante en los procesos de síntesis de membrana, endocitosis y exocitosis, lo mismo que en el **transporte de membrana** (véase el **Gráfico 1-3**), dado que conserva la membrana conforme se transfiere a través de los diversos compartimientos celulares. El grado de fluidez es afectado,

- de modo directo, por la temperatura y el grado de insaturación de las colas de ácidos grasos de los fosfolípidos de la membrana y,

- de modo indirecto, por la cantidad de colesterol que contiene.

Los iones y otras moléculas hidrófilas son incapaces de atravesar la bicapa lipídica, pero moléculas pequeñas no polares, como el oxígeno y el dióxido de carbono, al igual que moléculas polares sin carga, como el agua y el glicerol, se difunden con facilidad a través de esta bicapa. Proteínas integrales de paso múltiple especializadas, que reciben el nombre de **proteínas de membrana transportadoras**, intervienen en la transferencia de sustancias (p.ej., moléculas hidrófilas, iones) a través del plasmalema. El transporte a través de la membrana celular puede ser

- **pasivo** en favor de un gradiente iónico o de concentración (no necesita energía y se clasifica en dos tipos: **difusión simple** y **difusión facilitada** a través de canales iónicos proteicos o proteínas transportadoras) o
- **activo** solo a través de proteínas transportadoras (consume energía; por lo general, en contra de un gradiente).

Los **canales iónicos proteicos** pueden ser canales **sin compuertas** o **con compuertas**. Los primeros están siempre abiertos, mientras que los canales iónicos con compuertas necesitan que haya un estímulo (alteración del voltaje, estímulo mecánico, presencia de un ligando, proteína G, sustancia neurotransmisora, etc.) que abra las compuertas. Estos **ligandos** y **sustancias neurotransmisoras** son tipos de moléculas de señal. Las **moléculas de señal** pueden ser hidrófobas (solubles en lípidos) o hidrófilas y se utilizan en la comunicación intercelular.

- Las moléculas liposolubles se difunden a través de la membrana celular para activar **sistemas de mensajeros intracelulares** mediante su unión a moléculas receptoras ubicadas en el citoplasma o en el núcleo.
- Las moléculas de señal hidrófilas inician una secuencia de respuestas específica mediante su unión a **receptores** (proteínas integrales) incluidos en la membrana celular.

Las **proteínas transportadoras**, a diferencia de los canales iónicos, pueden permitir el paso de moléculas con gasto de energía o sin él. Si el material debe transportarse contra un gradiente de concentración, las proteínas transportadoras pueden utilizar mecanismos impulsados por ATP o concentraciones diferenciales de iones sodio para lograr el movimiento deseado. A diferencia de lo que ocurre con los canales iónicos, los materiales que deben transportarse se unen a la superficie interna de la proteína transportadora. El material puede transportarse

- en forma individual (**uniporte**) o
- en conjunto con otra molécula (transporte acoplado) y las dos sustancias pueden desplazarse
 - o en la misma dirección (**simporte**) o
 - o en direcciones opuestas (**antiporte**).

CUADRO 1-1 • Funciones y ejemplos de proteínas G heterotriméricas*

| Tipo | Función | Ejemplos |
|--------------------|--|---|
| G _s | Activa la adenilato ciclasa y conduce a la formación de cAMP que activa proteínas cinasas | La unión de la adrenalina a los receptores β -adrenérgicos aumenta las concentraciones de cAMP en el citosol |
| G _i | Inhibe la adenilato ciclasa e impide la formación de cAMP, con lo que no se activan proteínas cinasas | La unión de la adrenalina a los receptores α_2 -adrenérgicos disminuye las concentraciones de cAMP en el citosol |
| G _q | Activa la fosfolipasa C y conduce a la formación de inositol trifosfato y diacilglicerol, lo que permite la entrada de calcio en la célula para activar la proteína cinasa C | La fijación de antígeno a la IgE unida a membrana causa la liberación de histamina por los mastocitos |
| G _o | Abre canales de K ⁺ para que el ión entre en la célula y cierra canales de Ca ²⁺ , con lo que se inhiben la entrada y la salida del calcio | Se induce la contracción del músculo liso |
| G _{olf} | Activa la adenilato ciclasa en las neuronas olfatorias, lo que abre canales de sodio con compuerta sensibles al cAMP | La unión de sustancias odoríferas a los receptores asociados con proteínas G inicia la generación de impulsos nerviosos |
| G _t | Activa la cGMP fosfodiesterasa en la membrana celular de los bastones y conduce a la hidrólisis del cGMP, cuyo resultado es la hiperpolarización del plasmalema de los bastones de la retina | La activación fotónica de la rodopsina determina la estimulación de los bastones |
| G _{12/13} | Activa la familia Rho de GTPasas que controlan la formación de la actina y la regulación del citoesqueleto | Se facilita la migración celular |

*cAMP, adenosina monofosfato cíclico; cGMP, guanosina monofosfato cíclico; IgE, inmunoglobulina E

Las células poseen varios orgánulos u organoides distintos, muchos de los cuales están formados por membranas cuya composición bioquímica es semejante, pero no idéntica, a la del plasmalema.

Mitocondrias

Las **mitocondrias** (véase el **Gráfico 1-2**) están compuestas por una membrana externa y otra interna, con un compartimiento interpuesto entre ambas que recibe el nombre de **espacio intermembrana**. La membrana interna se pliega para formar estructuras aplanadas laminares (o estructuras tubulares, en las células productoras de esteroides) llamadas **crestas** y limita un espacio lleno de líquido viscoso denominado **matriz mitocondrial**.

Las mitocondrias

- tienen una función que consiste en **producir ATP** mediante un mecanismo de acoplamiento quimiosmótico que utiliza una secuencia específica de complejos enzimáticos y sistemas de translocación de protones (la **cadena de transporte de electrones** y las **partículas elementales** que contienen ATP sintetasa) incluidos en sus crestas
- en el **tejido adiposo multilocular** (“grasa parda”) generan calor en lugar de producir ATP.
- también contribuyen a la **síntesis** de ciertos **lípidos** y **proteínas** y en su matriz contienen las enzimas del **ciclo del ácido tricarboxílico (ciclo de Krebs)**, moléculas de **DNA circular** y gránulos matriciales
- aumentan en cantidad por medio de la **fisión binaria**.

Ribosomas

Los **ribosomas** son orgánulos no membranosos bipartitos pequeños que existen en la forma de partículas individuales que no confluyen hasta que se inicia la síntesis proteica. Las dos subunidades son de tamaño y composición desiguales. La subunidad mayor tiene un coeficiente de sedimentación de 60S, mientras que el de la menor es 40S (véase el **Cuadro 1-2**). Cada subunidad está compuesta por proteínas y rRNA, y en conjunto actúan como un “taller” interactivo que no solo provee una superficie sobre la cual ocurre la síntesis proteica sino que también funciona como catalizador que facilita esa síntesis.

Retículo endoplasmático

El **retículo endoplasmático** está compuesto por túbulos, sacos y membranas laminares aplanadas que ocupan

CUADRO 1-2 • Composición del ribosoma

| Subunidad | Tamaño | Cantidad de proteínas | Tipos de rRNA |
|-----------|--------|-----------------------|-------------------|
| Mayor | 60S | 49 | 5S 5,8S 28S |
| Menor | 40S | 33 | 18S |

rRNA, ácido ribonucleico ribosómico; S, unidades Svedberg

una gran parte del espacio intracelular (véase el **Gráfico 1-2**). Hay dos tipos de retículo endoplasmático: liso y rugoso.

- El **retículo endoplasmático liso** (SER) tiene entre sus funciones la síntesis de **colesterol** y **lípidos** y la **desintoxicación** de ciertos fármacos y toxinas (como los barbituratos y el alcohol). Además, en las células musculares esqueléticas este orgánulo está especializado para secuestrar y liberar iones calcio y, en consecuencia, regula la contracción y la relajación muscular.
- El **retículo endoplasmático rugoso** (RER), cuya superficie citoplasmática tiene moléculas receptoras para ribosomas y partículas de reconocimiento de señal (conocidas como **riboforinas** y **proteínas de acoplamiento**, respectivamente), está en continuidad con la **membrana nuclear externa**. La función del RER consiste en la **síntesis** y la **modificación de proteínas** que tendrán que **envasarse**, así como en la síntesis de lípidos y proteínas de membrana.

Para la síntesis proteica se necesitan el mRNA (portador del código), los tRNA (portadores de aminoácidos) y los ribosomas (véase el **Gráfico 1-4**). Las proteínas que no tienen que ser envasadas se sintetizan en los **ribosomas** libres en el citosol, mientras que las **proteínas no citosólicas** (proteínas lisosómicas, de secreción y de membrana) se sintetizan en ribosomas que se translocan a la superficie del **retículo endoplasmático rugoso**. El complejo de mRNA y ribosomas recibe el nombre de **polisoma** o **polirribosoma**.

- La **hipótesis de la señal** postula que los mRNA codificadores de proteínas no citosólicas tienen un segmento inicial constante, el **codón de señal**, que codifica un **péptido de señal**.
- Cuando el mRNA llega al citoplasma, se asocia con la subunidad menor de un ribosoma. La subunidad menor tiene un sitio de unión para el mRNA y tres sitios de unión (A, P y E) para los tRNA.

Una vez que se ha completado el proceso de la iniciación se reconoce el **codón de inicio** (AUG, para el aminoácido metionina) y el **tRNA iniciador** (que porta la metionina) se une al **sitio P** (sitio de unión para el peptidil-tRNA), la subunidad ribosómica mayor, que tiene sitios A, P y E correspondientes, se une a la subunidad menor y la síntesis proteica puede comenzar.

El codón siguiente es reconocido por el aminoacil-tRNA adecuado, que entonces se une al **sitio A** (sitio de unión para el aminoacil-tRNA). La metionina se desacopla del tRNA iniciador (en el sitio P) y se forma un **enlace peptídico** entre los dos aminoácidos (con la formación de un **dipéptido**), de modo que el tRNA en el sitio P pierde su aminoácido y el tRNA en el sitio A tiene ahora dos aminoácidos unidos a él. La formación de este enlace peptídico es catalizada por la enzima **peptidil transferasa**, una parte de la subunidad ribosómica mayor.

Conforme se establece el enlace peptídico, la subunidad mayor se desliza en relación con la subunidad menor y los tRNA unidos oscilan justo lo suficiente para hacer que se muevan apenas un poco, de modo que el tRNA iniciador (que perdió su aminoácido en el sitio P) se desplaza hacia el **sitio E** (sitio de salida, *exit* en inglés) y el tRNA que tiene dos aminoácidos unidos a él se mueve del sitio A al sitio P, lo cual deja vacante el sitio A.

Conforme ocurre este desplazamiento, la subunidad ribosómica menor se mueve por la distancia de un solo codón a lo largo del mRNA, de modo que las dos subunidades ribosómicas otra vez están alineadas una con respecto a la otra y el sitio A queda ubicado sobre el codón siguiente en la cadena del mRNA.

Cuando el tRNA nuevo con su aminoácido asociado ocupa el sitio A (suponiendo que su anticodón sea complementario del codón recién expuesto en el mRNA), el tRNA iniciador se desprende del sitio E y abandona el ribosoma. El dipéptido se desacopla del tRNA en el sitio P y se establece un enlace peptídico entre el dipéptido y el aminoácido nuevo, con lo cual se forma un tripéptido.

De nuevo el tRNA vacío se desplaza hacia el sitio E para desprenderse del ribosoma, mientras que el tRNA portador del tripéptido se mueve del sitio A al sitio P. Así, la cadena peptídica se alarga para formar la proteína con secuencia de señal.

El citosol contiene proteínas que se conocen como **partículas de reconocimiento de la señal (SRP)**.

- Una SRP se une a cada secuencia de señal e inhibe la continuación de la síntesis proteica y el ribosoma completo se desplaza hacia el RER.
- Un **receptor para la partícula de reconocimiento de la señal**, una proteína transmembrana que está ubicada en la membrana del RER, reconoce y orienta de modo adecuado al ribosoma.
- El acoplamiento del ribosoma determina el movimiento del complejo SRP-ribosoma hacia un translocador de proteínas, un poro en la membrana del RER.
- La subunidad mayor del ribosoma se une al translocador de proteínas con la formación de un sello hermético, lo cual alinea el poro del ribosoma con el poro del translocador.
- La partícula de reconocimiento de la señal y el receptor de SRP abandonan el ribosoma, la síntesis proteica se reanuda y la cadena proteica en formación puede introducirse en la cisterna del RER a través del canal hidrófilo que perfora el translocador de proteínas.
- Durante este proceso, la enzima **peptidasa de la señal**, ubicada en la cisterna del RER, escinde la secuencia de señal de la cadena polipeptídica en crecimiento.
- Una vez que se ha completado la síntesis proteica, las dos subunidades ribosómicas se separan del RER y quedan libres en el citosol.

La proteína neosintetizada se modifica en el RER por glucosilación y por formación de enlaces disulfuro, que transforman la proteína lineal en su forma globular.

Aparato de Golgi, red *cis*-Golgi y red *trans*-Golgi

El **aparato (complejo) de Golgi** está compuesto por un cúmulo de vesículas, túbulos y cisternas aplanadas, limitados por membrana, que muestra una orientación específica. Cada complejo de Golgi tiene

- una cara convexa de entrada, conocida como **cara o cisterna *cis***, que está más cerca del núcleo, y
- una cara cóncava de salida, denominada **cara o cisterna *trans***, que se orienta hacia la membrana celular.
- Entre las caras *cis* y *trans* hay varias **cisternas intermedias** (véase el **Gráfico 1-2**).

El complejo de Golgi no solo **envasa** sino que también **modifica** las macromoléculas sintetizadas en la superficie del RER. Las proteínas neosintetizadas pasan de la región del RER conocida como **elemento transicional del retículo endoplasmático** al

- **cúmulo vesiculotubular (VTC)**, antes llamado ERGIC) por medio de **vesículas de transferencia**, cuya membrana está recubierta de la proteína coatómero II (COPII) y por ello reciben el nombre de vesículas con cubierta de COPII. Desde el VTC, las proteínas pasan a
- la red *cis*-Golgi, probablemente a través de vesículas con cubierta de COPI (coatómero I).
- Las proteínas continúan su camino a través de las cisternas *cis*, intermedias y *trans* del aparato de Golgi (probablemente) por medio de vesículas con cubierta de COPI (o, según algunos autores, por maduración cisternal).
- Los oligosacáridos lisosómicos se fosforilan en el VTC, en la cisterna *cis* o en ambos sitios;
- en las cisternas intermedias se extraen grupos de manosa y se añaden galactosa y ácido siálico (**glucosilación terminal**), mientras que
- en la cisterna *trans* ocurre la fosforilación y la sulfatación de residuos de aminoácidos seleccionados.

La **clasificación** y el **envasado** final de las macromoléculas están a cargo de la **red *trans*-Golgi (TGN)**.

- Los receptores de manosa 6-fosfato presentes en la TGN reconocen y envasan las enzimas destinadas a los lisosomas.
 - o Estas **enzimas lisosómicas** abandonan la TGN en vesículas con cubierta de clatrina.
- Las **proteínas de secreción regulada** se separan y también se envasan en vesículas con cubierta de clatrina.
- Las **proteínas de membrana** y las proteínas destinadas a la secreción constitutiva (no regulada) se envasan en vesículas sin cubierta de clatrina.

Cabe destacar que el material puede atravesar el complejo de Golgi de un **modo anterógrado**, como se acaba de describir, lo mismo que de un **modo retrógrado**, lo cual ocurre en algunas situaciones, como cuando proteínas “fugitivas” que son residentes del RER o de una cisterna par-

ticular del aparato de Golgi tienen que ser devueltas a sus compartimientos de origen en vesículas con cubierta de COPI.

Endosomas

Los **endosomas** son compartimientos intermedios dentro de la célula que se utilizan para destruir materiales que han sufrido endocitosis, fagocitosis o autofagocitosis, y para la formación de los lisosomas. Los endosomas

- tienen en su membrana **bombas de protones** que bombean H^+ hacia adentro del orgánulo para acidificar el interior de este compartimiento.
- constituyen etapas intermedias en la formación de los lisosomas.

Los receptores permiten la endocitosis de una concentración de ligandos mucho mayor que la que sería posible sin su participación. Este proceso recibe el nombre de **endocitosis mediada por receptores** y comprende la formación de una **vesícula endocítica con cubierta de clatrina** que, después de separarse de la membrana celular y quedar libre dentro del citoplasma, se desprende de su cubierta de clatrina y se fusiona con un **endosoma temprano**.

- Los **endosomas tempranos** están ubicados en la periferia celular, contienen complejos receptor-ligando y su carácter ácido (pH 6) determina que los receptores se desacoplen de sus ligandos.
- Los receptores suelen transportarse hacia un sistema de vesículas tubulares, los **endosomas de reciclaje**, desde donde se devuelven al plasmalema, mientras que los ligandos se translocan hacia los endosomas tardíos, situados más profundamente en el citoplasma.
- En los **endosomas tardíos**, el pH es todavía más ácido (pH 5,5). Muchos investigadores han indicado que los endosomas tempranos maduran hacia endosomas tardíos por medio de la fusión vesicular entre sí, al igual que la fusión con endosomas tardíos que se habían formado antes.

Lisosomas

Los **lisosomas** se forman mediante el uso de los **endosomas tardíos** como compartimiento intermedio.

- Tanto la membrana de los lisosomas como las enzimas lisosómicas se envasan en la TGN y
- se envían en **vesículas con cubierta de clatrina** separadas hacia los endosomas tardíos para formar los **endolisosomas**, los cuales luego maduran hasta convertirse en **lisosomas**.

Estas vesículas limitadas por membrana, cuyas bombas protónicas son la causa de su interior muy ácido (pH 5), contienen diversas **enzimas hidrolíticas** que actúan en la **digestión intracelular**. Estas enzimas

- degradan ciertas macromoléculas, partículas fagocitadas (**fagolisosomas**) y material autofagocitado (**autofagolisosomas**).

- Con frecuencia, los restos no digeribles de la degradación lisosómica permanecen en la célula encerrados en vesículas que reciben el nombre de **cuerpos residuales**.
- Es probable que la membrana lisosómica mantenga su integridad porque los dominios intraluminales de las proteínas de la membrana están glucosilados en grado mucho mayor que en otras membranas, lo cual impide su degradación.

Peroxisomas

Los **peroxisomas** son orgánulos limitados por membrana que contienen **enzimas oxidativas** como la **urato oxidasa**, la **D-aminoácido oxidasa** y la **catalasa**. Estos orgánulos actúan

- en la formación de radicales libres (p. ej., superóxidos) que destruyen sustancias diversas y
- en la protección de la célula mediante la degradación del peróxido de hidrógeno por la catalasa.
- También intervienen en la **desintoxicación** de ciertas toxinas y en el alargamiento de algunos ácidos grasos durante la **síntesis de lípidos**.

La mayoría de las proteínas peroxisómicas se sintetizan en el citosol y no en el RER. Todos los peroxisomas se forman por **fisión** a partir de peroxisomas preexistentes.

Proteasomas

Los **proteasomas** son orgánulos pequeños con forma de barril que actúan en la degradación de proteínas citosólicas. Hay dos tipos de proteasomas: el más **grande**, con un coeficiente de sedimentación de **26S** y el más **pequeño**, de solo **20S**. El proceso de la proteólisis citosólica está muy bien regulado y el candidato proteico tiene que estar marcado con

varias moléculas de **ubiquitina** antes de que se permita su destrucción por el sistema proteasómico 26S. El proteasoma 20S degrada proteínas que son **oxidadas** por especies reactivas de oxígeno para formar carbonilos proteicos.

Citoesqueleto

El **citoesqueleto** está compuesto por una colección de proteínas filamentosas que no solo actúan como almacén estructural de la célula sino que también intervienen en el **transporte** de materiales dentro de ella desde una región citoplasmática hasta otra, y le confieren la capacidad de tener **movimiento** y de sufrir la división celular. Los componentes del citoesqueleto comprenden

- **microtúbulos** (que consisten en heterodímeros de tubulinas α y β organizados en 13 protofilamentos),
- **filamentos finos** (de actina), también conocidos como **microfilamentos** (los filamentos finos actúan en el movimiento de las células de un sitio a otro, así como en el movimiento de regiones en la célula con respecto a sí misma) y
- **filamentos intermedios**, que son más gruesos que los filamentos finos y más delgados que los filamentos gruesos. Su función consiste en proveer una almacén estructural para la célula y en resistir las fuerzas mecánicas aplicadas a las células (**Cuadro 1-3**).
- Los **filamentos gruesos**, que se mencionan aquí pero tradicionalmente no se consideran como elemento principal del citoesqueleto, están compuestos de miosina, una proteína asociada con los filamentos de actina (AFAP), e interaccionan con los filamentos finos para facilitar el movimiento celular a lo largo de una superficie o el movimiento de regiones celulares con respecto a la célula.

CUADRO 1-3 • Principales filamentos intermedios

| Tipo | Ubicación | Función |
|----------------------------|---|---|
| Queratina | Células epiteliales Células del pelo y las uñas | Sostén; soporte de la tensión; resistencia al estiramiento; se asocia con desmosomas, hemidesmosomas y tonofilamentos; marcador inmunohistoquímico para tumores de origen epitelial |
| Vimentina | Células mesenquimáticas, condroblastos, fibroblastos, células endoteliales | Sostén estructural; forma una estructura similar a una jaula alrededor del núcleo; marcador inmunohistoquímico para tumores de origen mesenquimático |
| Desmina y vimentina | Músculo: liso y estriado, esquelético y cardíaco | Vinculan las miofibrillas entre sí y con el resto del citoesqueleto; la desmina es un marcador inmunohistoquímico para tumores de origen muscular |
| GFAP* y vimentina | Astrocitos, oligodendrocitos, células de Schwann y neuronas | Sostén; la GFAP es un marcador inmunohistoquímico para tumores de la neuroglia |
| Neurofilamentos | Neuronas | Sostén de axones y dendritas; marcador inmunohistoquímico para tumores de origen neuronal |
| Láminas A, B y C | Revisten la superficie interna de la envoltura nuclear de todas las células | Organizan y arman la envoltura nuclear; mantienen la organización de la cromatina asociada con la carioteca |

*GFAP, proteína ácida fibrilar glial

Los microtúbulos también establecen relaciones con proteínas llamadas **proteínas asociadas con los microtúbulos (MAP)**, las cuales permiten que orgánulos, vesículas y otros componentes del citoesqueleto se unan a ellos.

- La mayoría de los microtúbulos tienen su origen en el **centro organizador de microtúbulos (MTOC)** de la célula, ubicado cerca del aparato de Golgi.
- Estos elementos tubulares del citoesqueleto sirven como vías para la translocación intracelular de orgánulos y vesículas y, durante la división celular, los cromosomas los utilizan para el desplazamiento hacia sus sitios adecuados.
- Dos MAP importantes, la **cinesina** y la **dineína**, son proteínas motoras que facilitan el movimiento anterógrado y retrógrado intracelular de orgánulos y vesículas, respectivamente.
- El **axonema** de los cilios y los flagelos, y la armazón interna de los centriolos, están formados en su mayor parte por microtúbulos.

Inclusiones

Las **inclusiones** citoplasmáticas, como los **lípidos**, el **glucógeno**, los **gránulos de secreción** y los **pigmentos**, también son componentes habituales del citoplasma. Muchas de estas inclusiones son de índole temporal, aunque en ciertas células algunos pigmentos (p. ej., la **lipofuscina**) se mantienen de modo permanente.

NÚCLEO

El **núcleo** está limitado por la **envoltura nuclear**, compuesta por una **membrana nuclear interna** y otra **externa**, con una **cisterna perinuclear** interpuesta entre las dos (véase el **Gráfico 1-2**). La membrana nuclear externa está tachonada de **ribosomas** y se continúa, en algunas partes, con el **retículo endoplasmático rugoso**. En varios sitios, las membranas interna y externa se fusionan para formar siluetas circulares conocidas como

- **poros nucleares**, que permiten la comunicación entre el nucleoplasma y el citoplasma.

- Estas perforaciones de la envoltura nuclear están resguardadas por conjuntos de proteínas que, en conjunto con las perforaciones, reciben el nombre de **complejos de poros nucleares** y proveen vías de paso reguladas para el transporte de materiales hacia el núcleo y desde este hacia el citoplasma. El núcleo alberga los **cromosomas** y es el sitio de la **síntesis del RNA**.
- En el núcleo se transcriben el **mRNA** y el **tRNA**, así como los **microRNA**,
- mientras que el **rRNA** se transcribe en la región del núcleo llamada **nucléolo**.

El nucléolo también es el sitio del armado de las proteínas ribosómicas y el rRNA en las subunidades mayor y menor de los **ribosomas**. Estas subunidades ribosómicas entran en el citosol por separado.

CICLO CELULAR

El **ciclo celular** está regulado por el sistema de control del ciclo celular, el cual no solo asegura que ocurra la secuencia correcta de acontecimientos en el momento adecuado sino que también los vigila y los controla. El ciclo celular se subdivide en cuatro fases: G_1 , S, G_2 y M.

- Durante la fase presintética, G_1 , la célula aumenta su tamaño y su contenido de orgánulos.
- En la **fase S** ocurre la síntesis del DNA (además de la síntesis de las histonas y de otras proteínas asociadas con los cromosomas) y la duplicación de los centriolos.
- Durante G_2 se acumula ATP, se completa la duplicación de los centriolos y se acumula tubulina para la formación del huso mitótico. G_1 , S y G_2 reciben el nombre colectivo de **interfase**.
- **M** representa la **mitosis**, que está subdividida en profase, prometafase, metafase, anafase y telofase (véase el **Cuadro 1-4**). El resultado es la división de la célula y de su material genético en dos células hijas idénticas.

La secuencia de los acontecimientos que ocurren en el ciclo celular está controlada por varias proteínas desencadenantes llamadas **ciclinas** y **quinasas dependientes de ciclinas**.

CUADRO 1-4 • Etapas de la mitosis

| Etapas | Contenido de DNA | Características distintivas |
|---------------|--|---|
| Profase | El contenido de DNA se duplica en la fase S de la interfase (4n); además, se duplican los centriolos | La envoltura nuclear comienza a desintegrarse y el nucléolo desaparece. Los cromosomas se han duplicado y cada uno está compuesto por dos cromátides hermanas unidas entre sí a la altura del centrómero. Los centriolos migran hacia polos opuestos, donde actúan como centros organizadores de microtúbulos y dan origen a las fibras del huso y los rayos astrales. |
| Prometáfase | El complemento de DNA es 4n | La envoltura nuclear desaparece. En los centrómeros se desarrollan los cinetocoros, centros organizadores microtubulares adicionales, y aparecen los microtúbulos cinetocóricos. |
| Metafase | El complemento de DNA es 4n | Los cromosomas se alinean en la placa ecuatorial del huso mitótico |
| Anafase | El complemento de DNA es 4n | Las cromátides hermanas se separan en el centrómero y cada una migra hacia un polo opuesto de la célula a lo largo del microtúbulo, un proceso denominado cariocinesis. Al final de la anafase comienza a formarse un surco de escisión o segmentación en la región ecuatorial de la célula. |
| Telofase | Cada célula hija nueva contiene un solo complemento de DNA (2n) | La profundización del surco de escisión restringe la continuidad entre las dos células hijas en desarrollo y da origen al cuerpo medio o intermedio. Por último, las dos células hijas se separan una de la otra, un proceso denominado citocinesis. Se vuelve a formar la envoltura nuclear, los nucléolos reaparecen y los cromosomas se dispersan, con los que surge un nuevo núcleo en interfase en cada célula hija. |



CONSIDERACIONES CLÍNICAS

Enfermedades de almacenamiento lisosómico

Algunas personas sufren **enfermedades de almacenamiento lisosómico**, que consisten en una deficiencia hereditaria en la capacidad de los lisosomas para degradar el contenido de los endolisosomas. Uno de los ejemplos mejor caracterizados de estas enfermedades es la **enfermedad de Tay-Sachs**, que ocurre sobre todo en niños cuyos padres son descendientes de judíos del noreste europeo. Dado que los lisosomas de estos niños no pueden catabolizar los gangliósidos GM2, debido a una deficiencia de hexosaminidasa, sus neuronas acumulan cantidades masivas de este gangliósido en endolisosomas de diámetros cada vez mayores. Conforme los endolisosomas aumentan de tamaño, la función neuronal se obstruye y el niño fallece hacia el tercer año de vida.

Enfermedad de Zellweger

La **enfermedad de Zellweger** es un trastorno hereditario autosómico recesivo que interfiere la biogénesis normal de los peroxisomas y entre cuyas características se encuentran los quistes renales, la hepatomegalia, la ictericia, la hipotonía muscular y la desmielinización cerebral, que trae como consecuencia un retraso psicomotor.

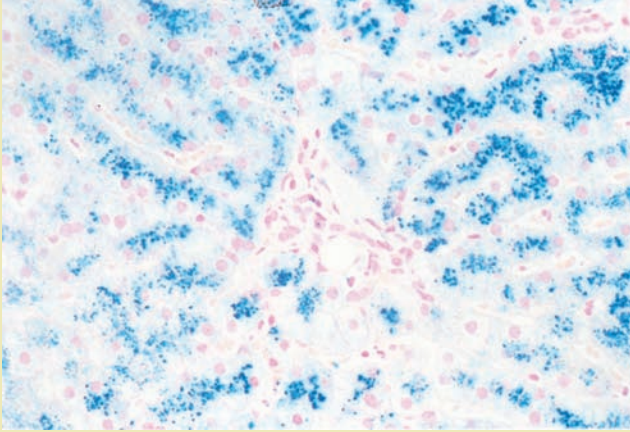
Cáncer

Estudios recientes han indicado que la mayor parte de los **cánceres** no surgen de mutaciones en genes indivi-

duales sino de la formación de aneuploidía. En efecto, dentro del mismo tumor, las configuraciones cromosómicas de las células individuales varían mucho y el contenido celular de DNA puede alcanzar del 50% al 200% del de la célula somática normal. Cabe destacar que en la mezcla y la recombinación de los cromosomas de las células cancerosas, fenómenos que dan la impresión de ser caóticos, parece que hay un orden, como en el linfoma de Burkitt, en el cual los cromosomas 3, 13 y 17 suelen mostrar translocaciones mientras que en los cromosomas 7 y 20 suelen faltar segmentos.

Hemocromatosis hereditaria

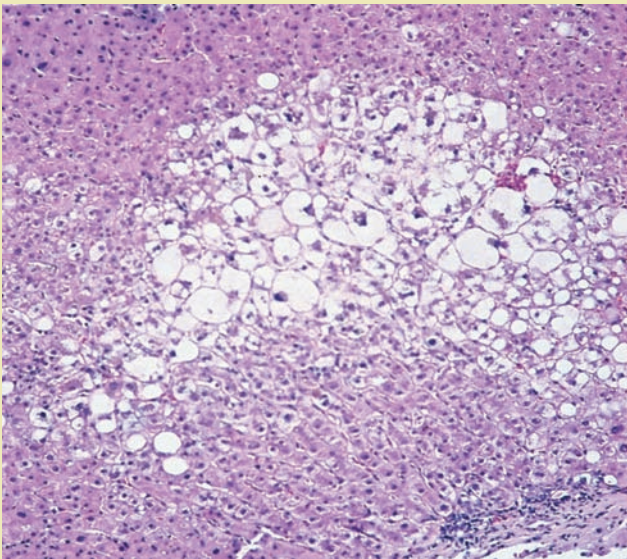
El almacenamiento excesivo de hierro en la **hemocromatosis hereditaria**, si no se trata, puede convertirse en un trastorno letal. La persona absorbe demasiado hierro, que se acumula en las células parenquimatosas de órganos vitales como el hígado, el páncreas y el corazón. Dado que puede afectar los órganos en una secuencia diferente, los síntomas varían y el diagnóstico puede ser difícil. El examen de la sangre en busca de concentraciones elevadas de ferritina y transferrina puede proveer el diagnóstico definitivo, que puede confirmarse mediante pruebas genéticas. Debido a que este es un trastorno hereditario, también se debe estudiar genéticamente a los parientes cercanos de las personas que padecen la enfermedad.



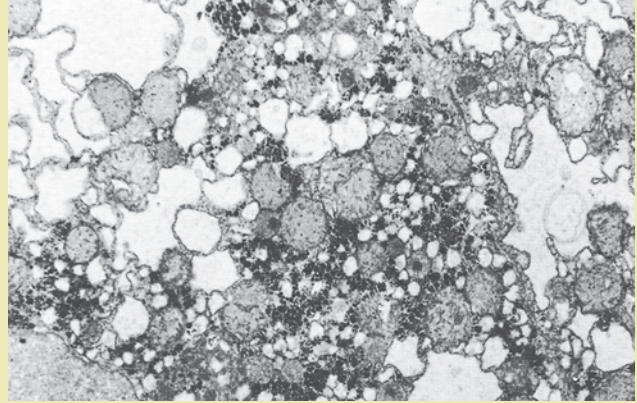
En el caso del hígado teñido con azul de Prusia que se muestra en esta microfotografía, los lisosomas de los hepatocitos contienen grandes acumulaciones de hierro (que aparecen como depósitos granulares finos). (Reproducido con autorización de Rubin R, Strayer D, et al., eds. Rubin's Pathology. Clinicopathologic Foundations of Medicine, 5th ed., Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins, 2008. p. 19).

Tumefacción hidrópica

Cuando las células se lesionan porque entran en contacto con toxinas, se someten a temperaturas altas o bajas, a concentraciones de oxígeno reducidas o se exponen a diversas condiciones nocivas, su citoplasma se vuelve tu-



Esta microfotografía óptica del hígado de un paciente con lesión hepática tóxica muestra tumefacción hidrópica. Obsérvese que las células afectadas han aumentado de tamaño y contienen acumulaciones de líquido, pero el núcleo de la mayor parte de ellas parece estar en su posición habitual. Las células de la periferia tienen aspecto normal. (Reproducido con autorización de Rubin R, Strayer D, et al., eds. Rubin's Pathology. Clinicopathologic Foundations of Medicine, 5th ed., Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins, 2008. p. 9).

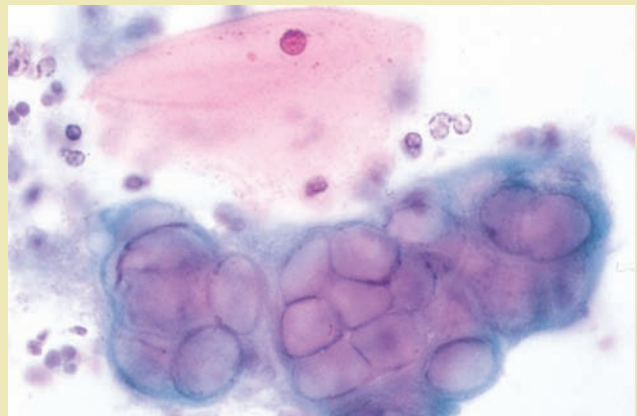


Microfotografía electrónica de un hígado con tumefacción hidrópica que muestra cisternas dilatadas del retículo endoplasmático que determinan que los hepatocitos aparezcan tumefactos. (Reproducido con autorización de Rubin R, Strayer D, et al., eds. Rubin's Pathology. Clinicopathologic Foundations of Medicine, 5th ed., Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins, 2008. p. 9).

mefacto y adquiere un aspecto pálido. Esta característica suele ser reversible y recibe el nombre de **tumefacción hidrópica**. Por lo general, los núcleos ocupan su posición normal y el contenido de orgánulos permanece inalterado pero estos se ubican más separados entre sí y, con el microscopio electrónico, se comprueba que las cisternas del retículo endoplasmático se hallan dilatadas.

Herpes genital

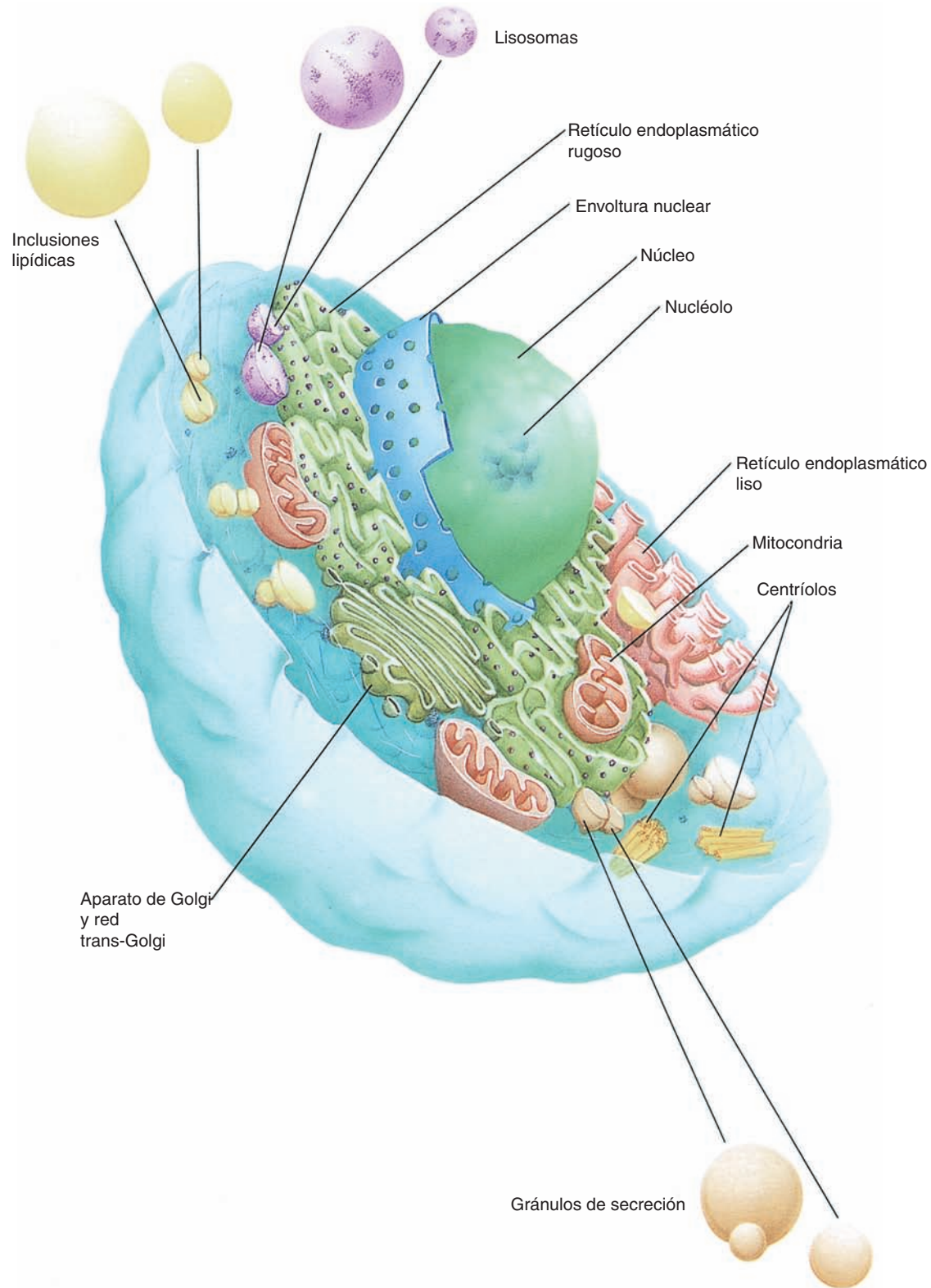
La infección del cuello del útero por el **virus del herpes simple (herpes genital)**, habitualmente causada por el **HSV-2** (aunque el **HSV-1**, que suele asociarse con

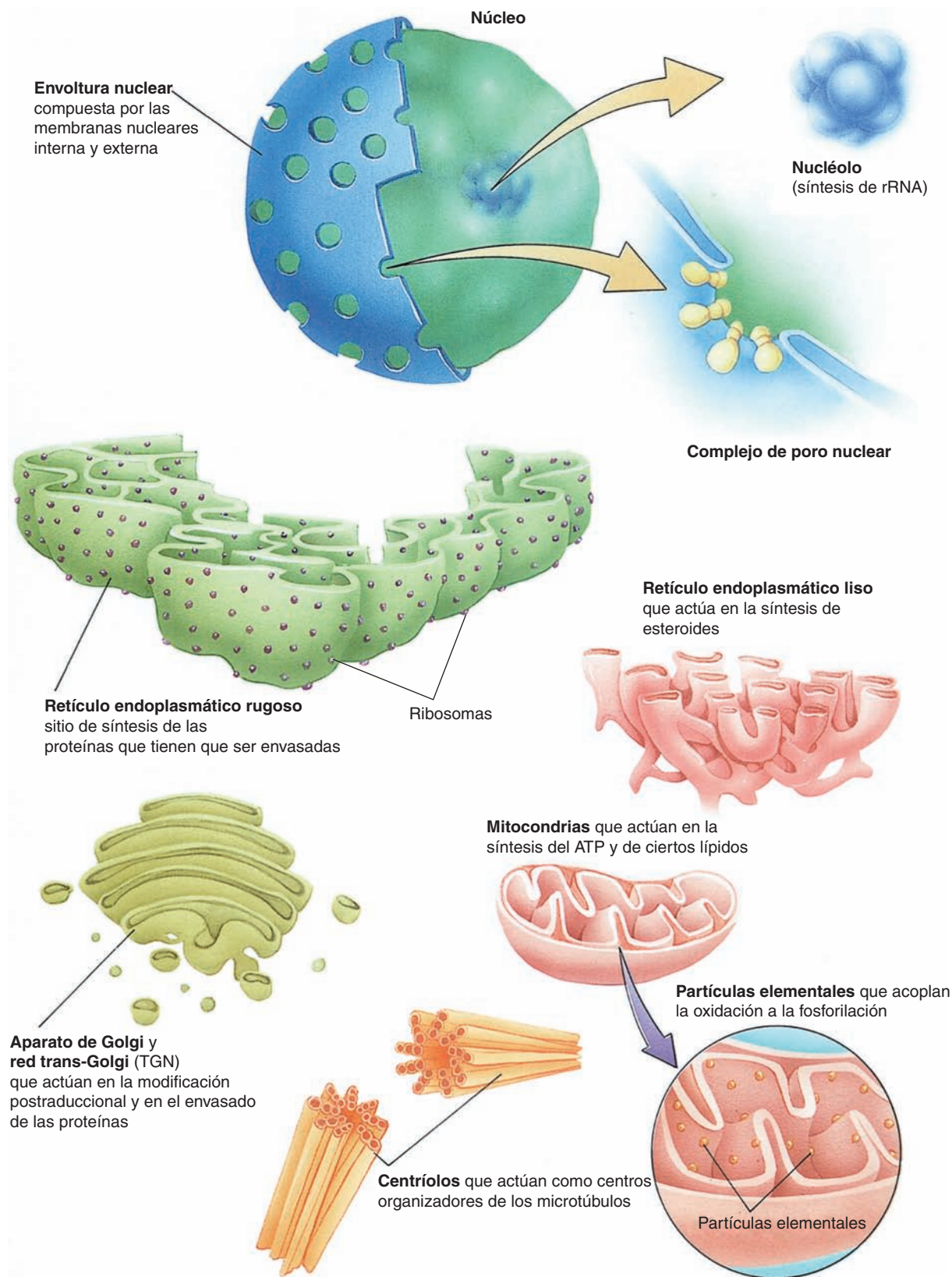


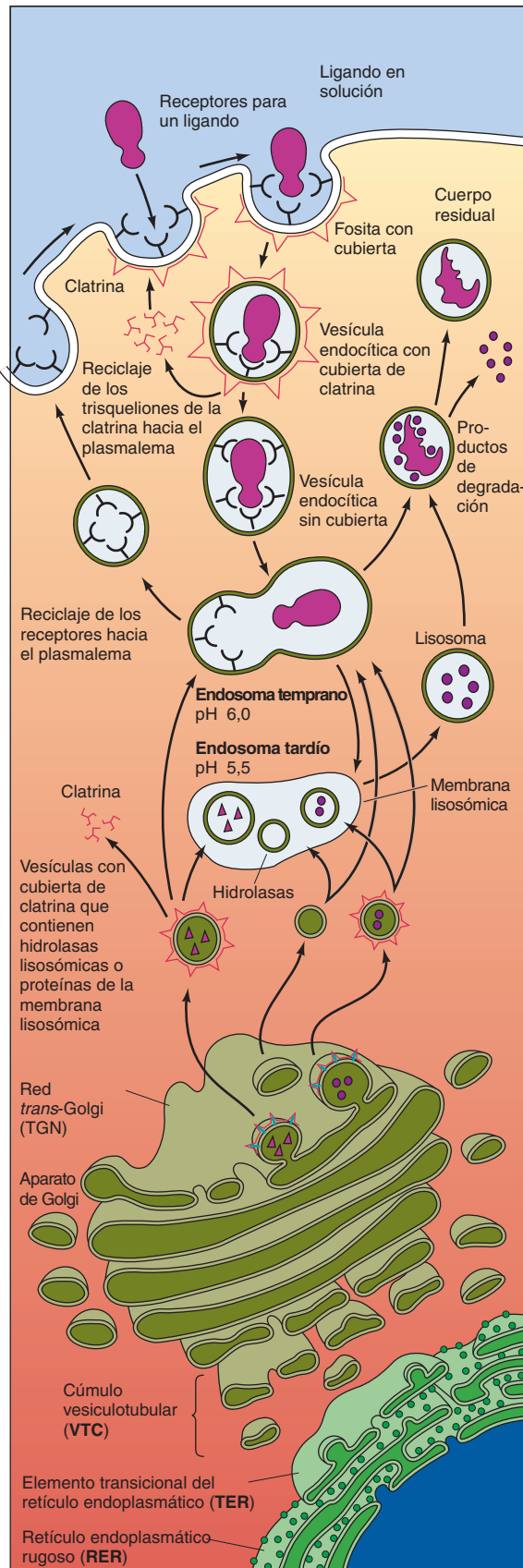
Obsérvese la célula epitelial sana con su citoplasma rosado y su núcleo de aspecto normal. Las células epiteliales infectadas poseen múltiples núcleos con aspecto de "vidrio esmerilado" y cromatina ubicada en la periferia. (Reproducido con autorización de Rubin R, Strayer D, et al., eds. Rubin's Pathology. Clinicopathologic Foundations of Medicine, 5th ed., Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins, 2008. p. 1268).

erupción vesicular en los labios y, a veces, en los ojos, también puede ser el agente etiológico), es una de las enfermedades de transmisión sexual más comunes. En general, la infección por virus del herpes simple determina la aparición de vesículas dolorosas que dejan escapar un líquido transparente, forman una costra más o menos en una semana y luego desaparecen. Durante este episodio, la mujer sufre dolor en la región genital y la micción puede acompañarse de una sensación urente. Sin embargo, si la región afec-

tada es el cuello del útero o la vagina, el dolor puede ser mucho menos intenso. Cuando las vesículas se rompen, el líquido que sale está repleto de HSV y la persona es infecciosa. Tras la erupción de las vesículas, el virus retrocede a lo largo de las fibras nerviosas hacia los ganglios y permanece allí hasta el episodio siguiente. Las infecciones por HSV no pueden curarse pero la intensidad del dolor y la duración del episodio pueden reducirse mediante el uso de agentes antivirales.







Las moléculas de señal se unen a **receptores** (proteínas integrales) incluidos en la membrana celular e inician una secuencia de respuestas específicas. Los receptores permiten la endocitosis de una concentración de ligandos mucho mayor de la que sería posible de otro modo. Este proceso, la **endocitosis mediada por receptores**, comprende la formación de **vesículas endocíticas con cubierta de clatrina**. Una vez dentro de la célula, la vesícula pierde su cubierta de clatrina y se fusiona con un endosoma temprano (pH 6), donde el ligando se desacopla del receptor. Los receptores se transportan desde el endosoma temprano hacia un sistema de vesículas tubulares, conocido como **endosoma de reciclaje**, desde donde se devuelven a la membrana plasmática.

Mediante el uso de cuerpos multivesiculares, el ligando se transfiere desde el endosoma temprano hasta otro sistema de vesículas, los endosomas tardíos, ubicados a una profundidad mayor en el citoplasma. Los endosomas tardíos son más ácidos (pH 5,5) y allí es donde comienza a degradarse el ligando. Los **endosomas tardíos** reciben hidrolasas lisosómicas y membranas lisosómicas, y es probable que de esta manera se transformen en lisosomas (pH 5,0). Las enzimas hidrolíticas de los lisosomas degradan el ligando y liberan las sustancias útiles para la célula, mientras que los restos no digeribles permanecen dentro de vesículas, los **cuerpos residuales**, dentro del citoplasma.

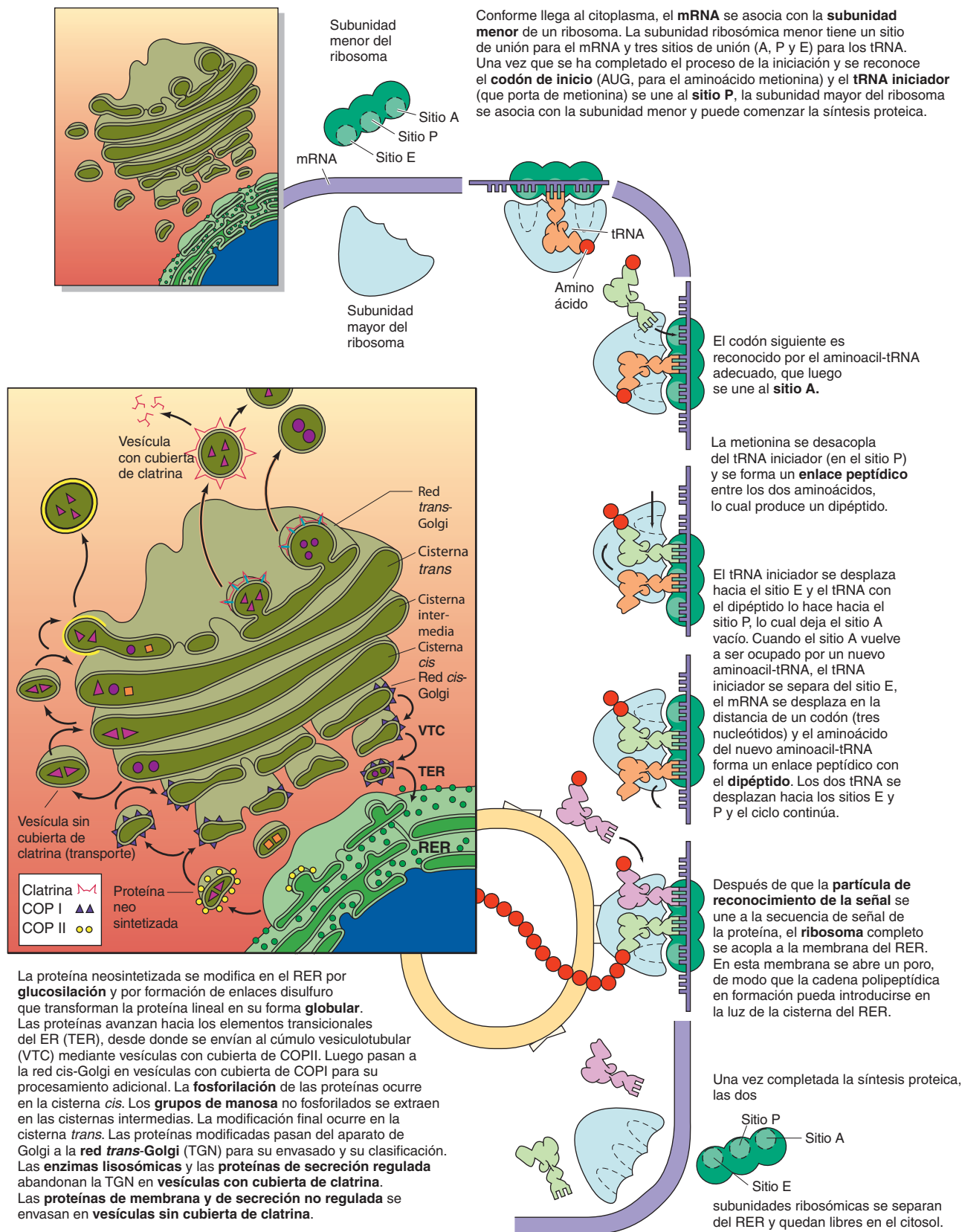


FIGURA 1. Células. Simio. Inclusión en plástico. 1.323×.

Una célula típica es una estructura limitada por una membrana que consiste en un **núcleo** (N) y un **citoplasma** (C). Aunque la membrana celular es demasiado delgada para ver con el microscopio óptico, el contorno de la célula indica la situación de la membrana (*puntas de flecha*). Obsérvese que el contorno de estas células particulares se acerca más o menos a una forma rectangular. Vistas en tres dimensiones, estas células aparecerían cúbicas y altas, con un núcleo de ubicación central. El **nucléolo** (n) es muy obvio, al igual que los grumos de cromatina (*flechas*) que están dispersos en la periferia y en todo el nucleoplasma.

FIGURA 3. Células. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

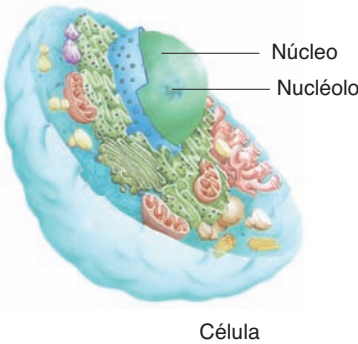
Las células tienen formas y tamaños diversos. Obsérvese que el **epitelio** (E) que tapiza la **superficie luminal** de la vejiga está compuesto por muchos estratos. El estrato más superficial está compuesto por células grandes y con forma de cúpula, algunas con dos **núcleos** (N). Los gránulos que aparecen en el citoplasma (*punta de flecha*) son depósitos de glucógeno. Las células que están más profundas en el epitelio son alargadas y estrechas, y sus núcleos (*flecha*) están ubicados en su región más ancha.

FIGURA 2. Células. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

Las células pueden tener morfologías altas y delgadas, como las de las células de un conducto colector del riñón. Sus **núcleos** (N) están ubicados en la región basal y aparece el contorno de las membranas celulares laterales (*puntas de flecha*). Dado que pertenecen a un epitelio, estas células se encuentran separadas de los **elementos del tejido conjuntivo** (CT) por una **membrana basal** (BM).

FIGURA 4. Células. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

Algunas células tienen una morfología muy poco habitual, como lo ejemplifica la **célula de Purkinje** (PC) del cerebelo. Obsérvese que su **núcleo** (N) está alojado en la porción celular más amplia, denominada soma (o pericarion). La célula tiene varias extensiones citoplasmáticas: las **dendritas** (De) y el axón. Esta neurona integra la gran cantidad de información que recibe de otras neuronas que establecen sinapsis con ella.



REFERENCIAS

| | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|----------|-----------|--------------------|
| BM | Membrana basal | De | Dendrita | N | Núcleo |
| C | Citoplasma | E | Epitelio | n | Nucléolo |
| CT | Tejido conjuntivo | L | Luz | PC | Célula de Purkinje |

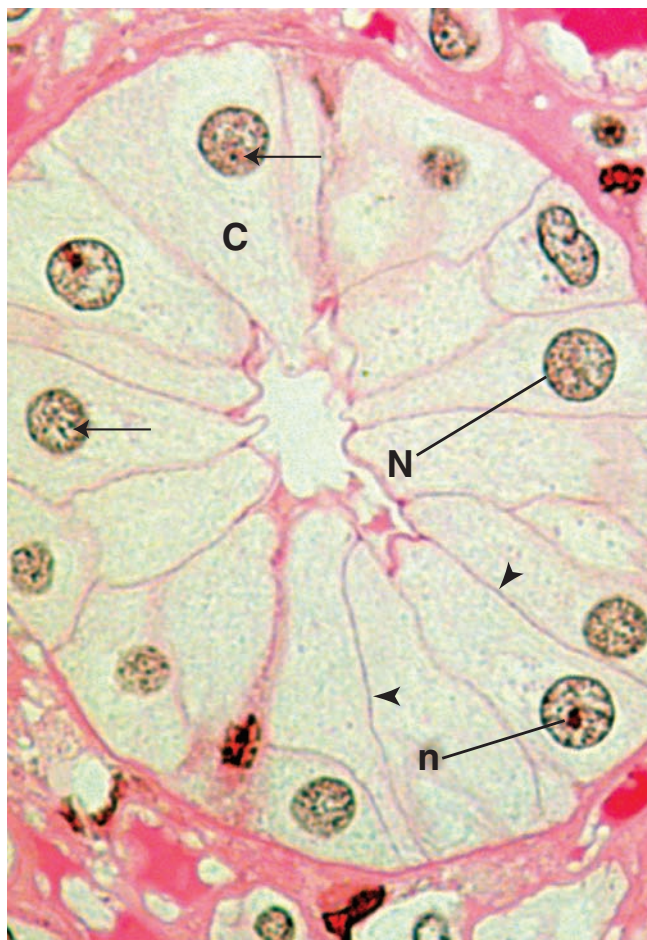


FIGURA 1

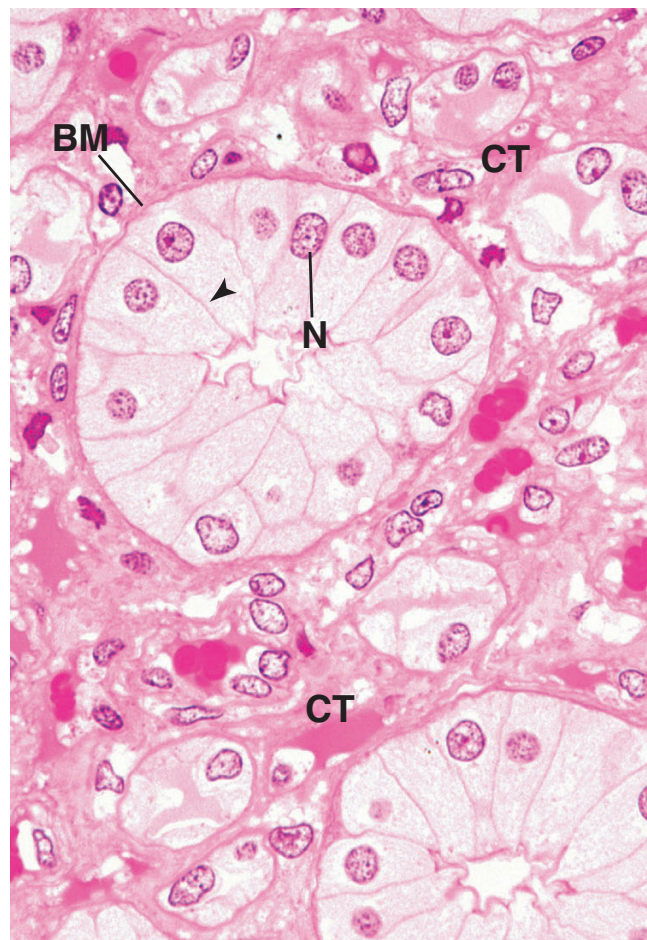


FIGURA 2

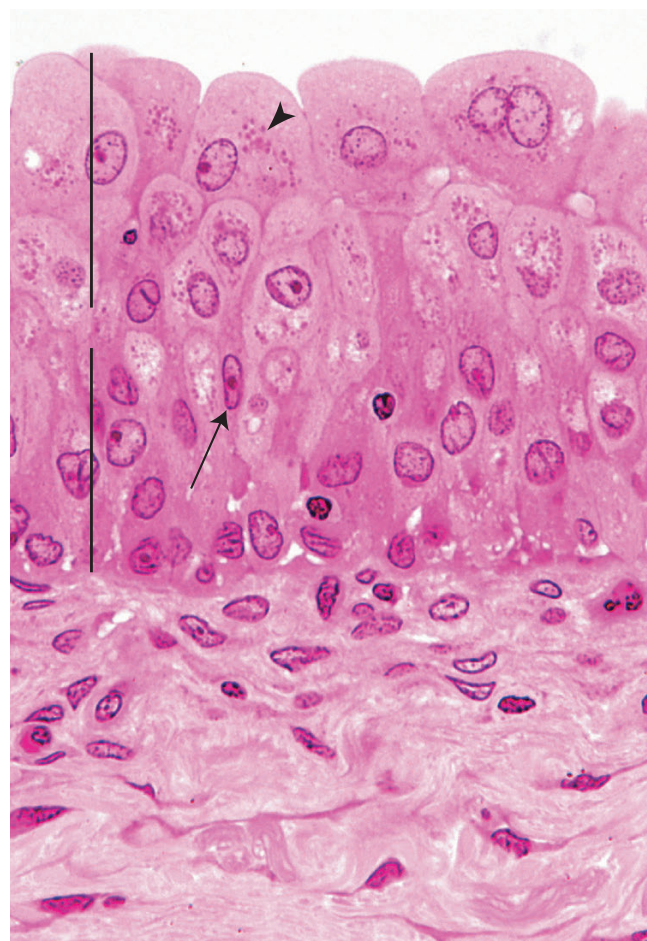


FIGURA 3

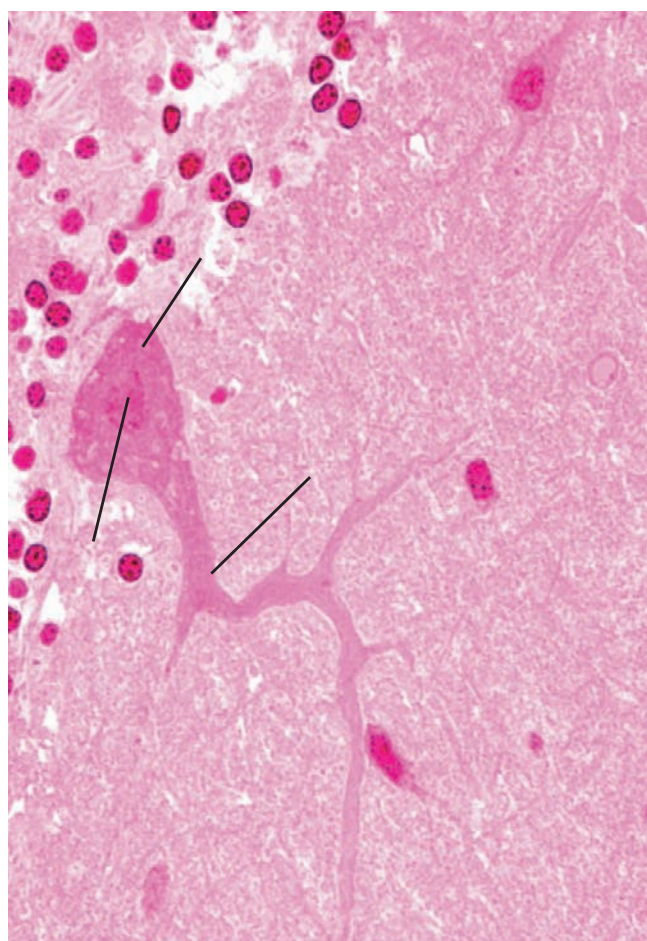


FIGURA 4

FIGURA 1. Núcleo y corpúsculos de Nissl. Médula espinal. Ser humano. Inclusión en parafina. 540×.

Las neuronas motoras de la médula espinal son neuronas multipolares porque muchas prolongaciones surgen de su **soma** (S) voluminoso, el cual alberga el **núcleo** (N) y orgánulos diversos. Obsérvese que el núcleo contiene un **nucléolo** (n) grande y bien teñido. En el citoplasma también hay una serie de estructuras bien teñidas que reciben el nombre de **corpúsculos de Nissl** (NB). La microscopia electrónica permitió comprobar que correspondían al retículo endoplasmático rugoso (RER). La intensidad de la tinción se debe al ácido ribonucleico de los ribosomas que están adheridos a la membrana del RER.

FIGURA 3. Gránulos de cimógeno. Páncreas. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

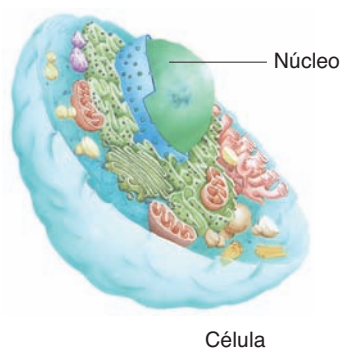
La porción exocrina del páncreas produce las enzimas necesarias para la digestión adecuada de los alimentos ingeridos. Las células pancreáticas almacenan estas enzimas en la forma de **gránulos de cimógeno** (ZG) hasta que la actividad hormonal desencadena su liberación. Obsérvese que las células parenquimatosas están organizadas en cúmulos denominados **ácinos** (Ac), con una luz central hacia la cual se vierte el producto de secreción. Nótese que los gránulos de cimógeno se almacenan en la región apical de la célula, lejos del **núcleo** (N), que está en la región celular basal. Las **flechas** señalan las membranas celulares laterales de las células contiguas de un ácino.

FIGURA 2. Productos de secreción. Mastocito. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

En el **tejido conjuntivo** (CT) subyacente al revestimiento epitelial de la mucosa del intestino delgado hay **mastocitos** (MC) abundantes. Los gránulos (**flechas**) de los mastocitos están distribuidos en todo su citoplasma y se liberan en toda la periferia de la célula. Estos gránulos pequeños contienen histamina y heparina, además de otras sustancias. Obsérvese que las **células epiteliales** (EC) son altas y de morfología cilíndrica y que algunos **leucocitos** (Le) están migrando hacia la **luz** intestinal (L) a través de los espacios intercelulares. Las **puntas de flecha** señalan las barras terminales, que son uniones entre células epiteliales contiguas. La microscopia electrónica ha permitido comprobar que la **chapa estriada** (BB) está formada por microvellosidades.

FIGURA 4. Productos de secreción mucosos. Células caliciformes. Intestino grueso. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

Las glándulas del intestino grueso contienen **células caliciformes** (GC); estas células elaboran una gran cantidad de material mucoso que actúa como lubricante para el movimiento del residuo compactado de la digestión. En cada célula caliciforme puede verse una región apical dilatada, la **teca** (T), que contiene el producto de secreción celular. La base de la célula está comprimida y alberga el **núcleo** (N), al igual que los orgánulos necesarios para la síntesis del moco, a saber: el RER y el aparato de Golgi. Las **flechas** señalan las membranas celulares laterales de células caliciformes contiguas.



REFERENCIAS

| | | | | | |
|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| Ac | Ácino | L | Luz | NB | Corpúsculo de Nissl |
| BB | Chapa estriada | Le | Leucocito | S | Soma |
| CT | Tejido conjuntivo | MC | Mastocito | T | Teca |
| EC | Célula epitelial | N | Núcleo | ZG | Gránulo de cimógeno |
| GC | Célula caliciforme | n | Nucléolo | | |

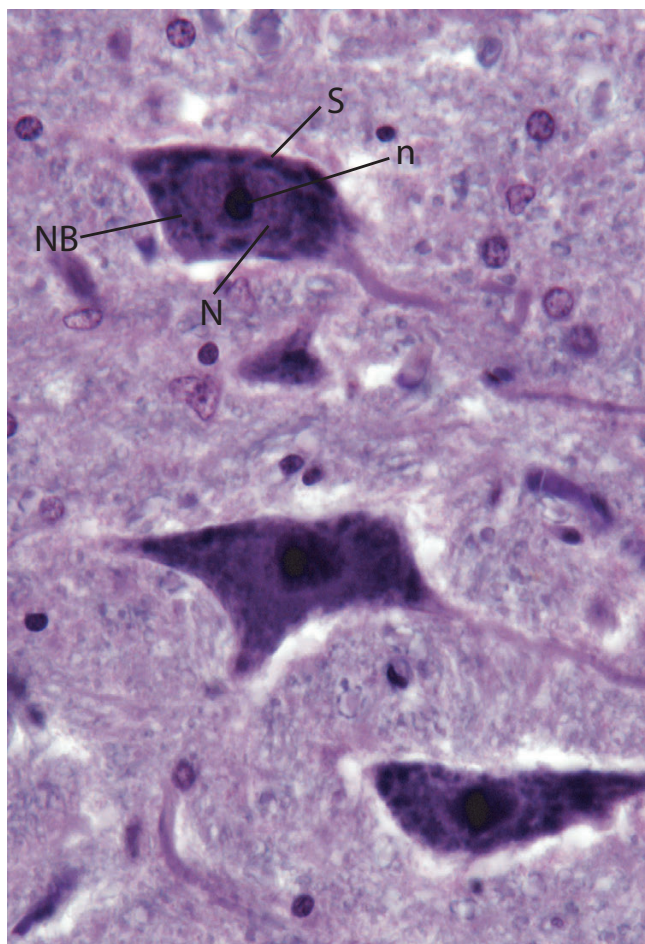


FIGURA 1

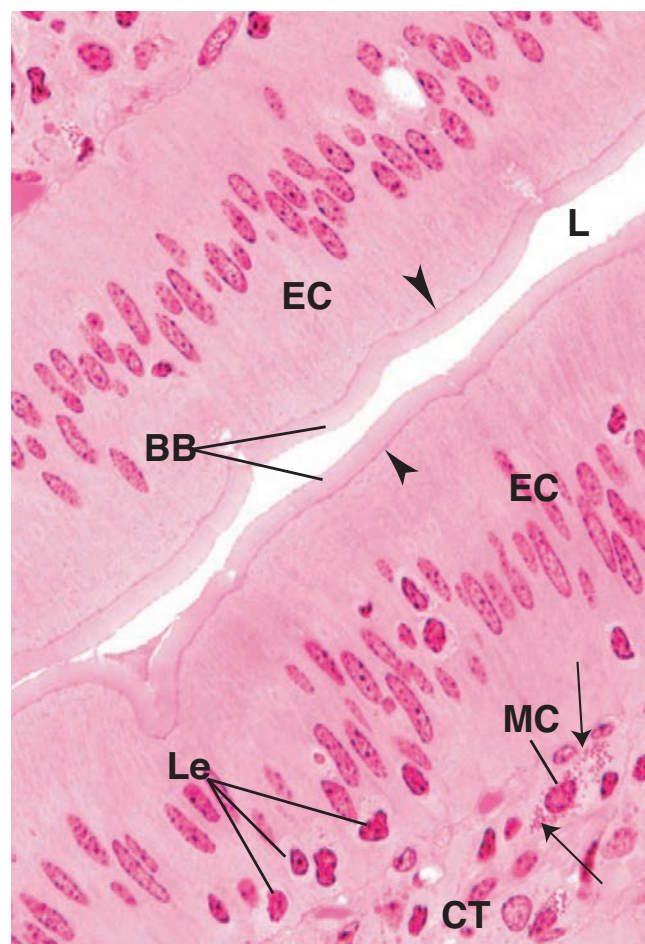


FIGURA 2

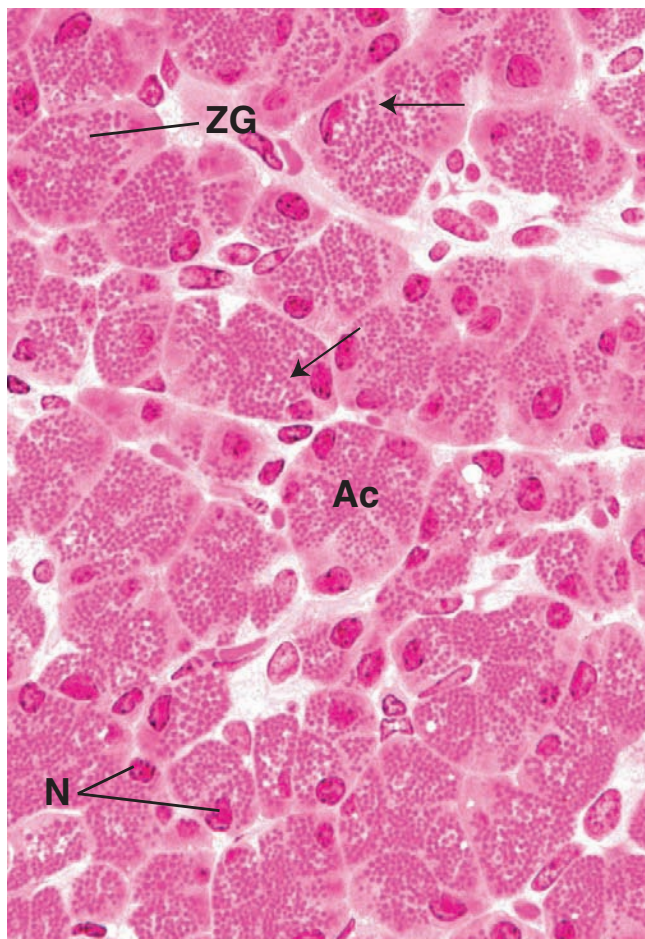


FIGURA 3

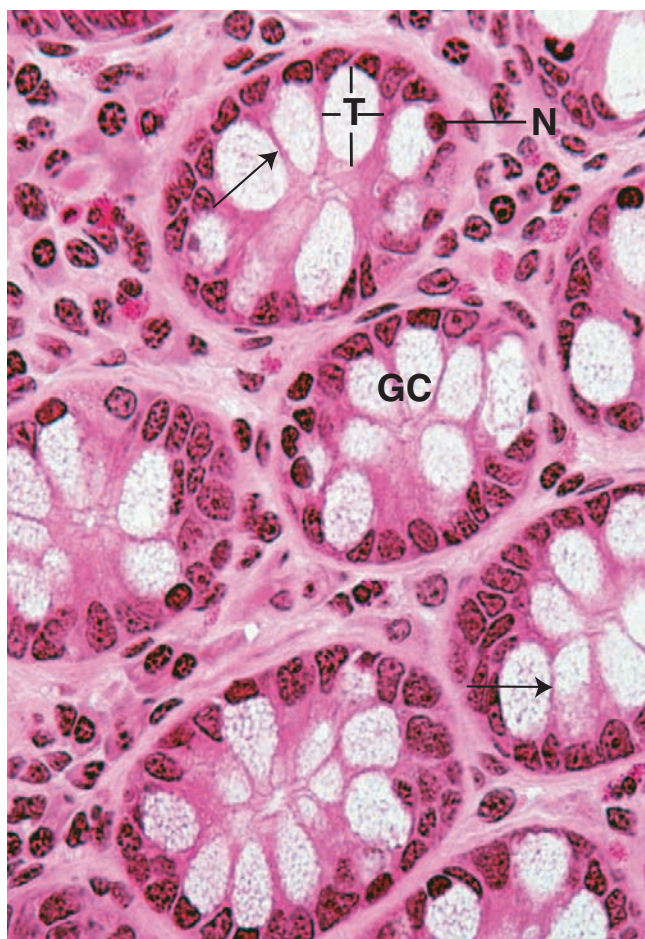


FIGURA 4

FIGURA 1. Chapa estriada. Intestino delgado. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

Las células que tapizan la **superficie luminal** (L) del intestino delgado son células cilíndricas entre las cuales hay muchas **células caliciformes** (GC) productoras de moco. La función de las células cilíndricas es absorber los alimentos digeridos a través de su superficie apical libre. Para aumentar la extensión de su superficie libre, las células tienen una **chapa estriada** (BB) que el microscopio electrónico demuestra que está formada por microvellosidades, extensiones digitiformes cortas y estrechas de citoplasma cubierto por plasmalema. Cada microvellosidad tiene una cubierta celular de glucocáliz que también contiene enzimas digestivas. En el centro de la microvellosidad hay filamentos de actina de orientación longitudinal y otras proteínas asociadas.

FIGURA 3. Estereocilios. Epidídimo. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

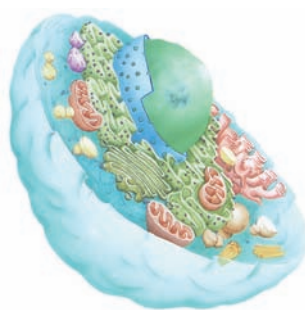
El revestimiento interno del conducto del epidídimo está compuesto por **células principales** (Pi) cilíndricas altas y **células basales** (BC) cortas. Las células principales tienen estereocilios largos (*flechas*) que sobresalen en la luz. Antes se creía que los estereocilios eran estructuras largas e inmóviles, similares a los cilios, pero los estudios con el microscopio electrónico han permitido comprobar que los estereocilios en realidad son microvellosidades largas que se ramifican y se aglomeran entre sí. La función de los estereocilios en el epidídimo, si es que tienen alguna, se desconoce. La luz está ocupada por gran abundancia de espermatozoides, los cuales tienen una cabeza oscura (*asteriscos*) y un flagelo pálido (*punta de flecha*) bien visibles. Los flagelos son estructuras muy largas, similares a cilios, que la célula utiliza para su propulsión.

FIGURA 2. Cilios. Trompa uterina. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

El revestimiento de la mucosa de la trompa uterina está compuesto por dos tipos de células epiteliales: las **células en clavija** (pc), con brotes citoplasmáticos apicales ("blebs"), que probablemente produzcan factores nutritivos necesarios para la supervivencia de los gametos, y las **células ciliadas** (CC), que son pálidas. Los cilios (*flechas*) son extensiones digitiformes largas y móviles de la membrana celular y el citoplasma apicales que desplazan material sobre la superficie de la célula. El centro del cilio, según lo muestra la microscopía electrónica, contiene el axonema, que está compuesto por microtúbulos ordenados en una configuración específica de nueve dobletes periféricos alrededor de un par central de microtúbulos individuales.

FIGURA 4. Puentes intercelulares. Piel. Simio. Inclusión en plástico. 540×.

La epidermis de la piel gruesa está compuesta por varios estratos celulares, uno de los cuales es el estrato espinoso que se muestra en esta microfotografía. Las células de esta capa tienen extensiones digitiformes gruesas y cortas que entran en contacto con las de las células contiguas. Antes del advenimiento del microscopio electrónico se creía que estos puentes intercelulares (*flechas*) eran continuidades citoplasmáticas entre células vecinas; sin embargo, hoy se sabe que estas prolongaciones sirven meramente como regiones de formación de desmosomas, de modo que las células puedan adherirse unas a otras.



Célula

REFERENCIAS

| | | | | | |
|-----------|----------------|-----------|--------------------|-----------|------------------|
| BB | Chapa estriada | GC | Célula caliciforme | Pi | Célula principal |
| BC | Célula basal | L | Luz | | |
| CC | Célula ciliada | pc | Célula en clavija | | |

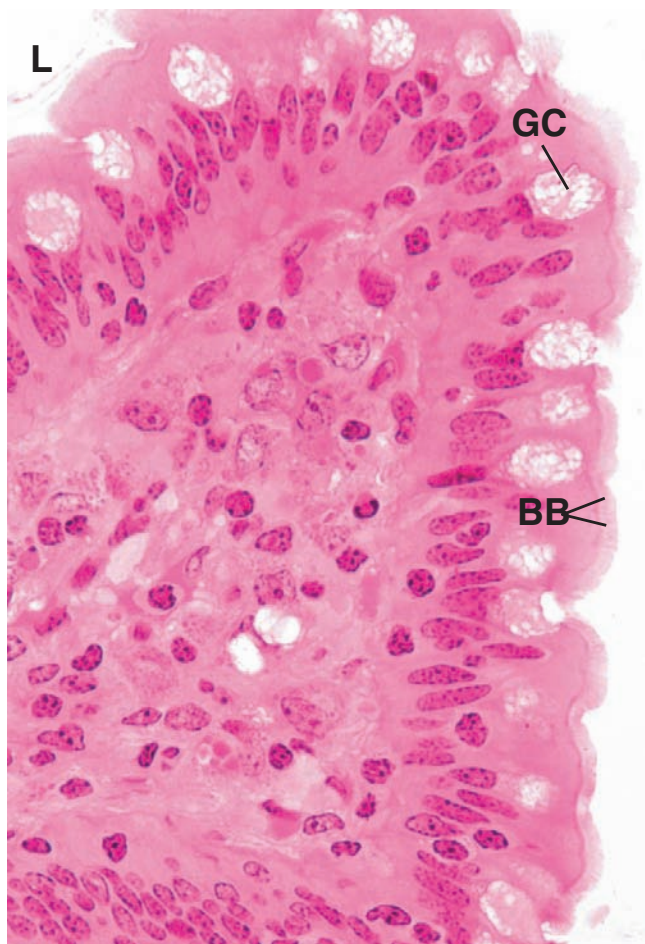


FIGURA 1



FIGURA 2

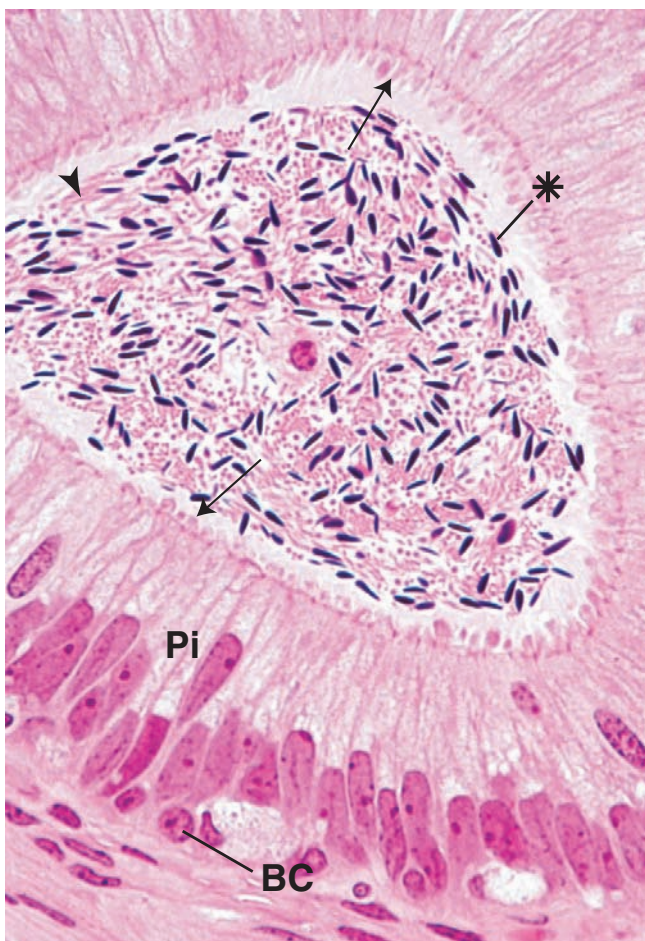


FIGURA 3

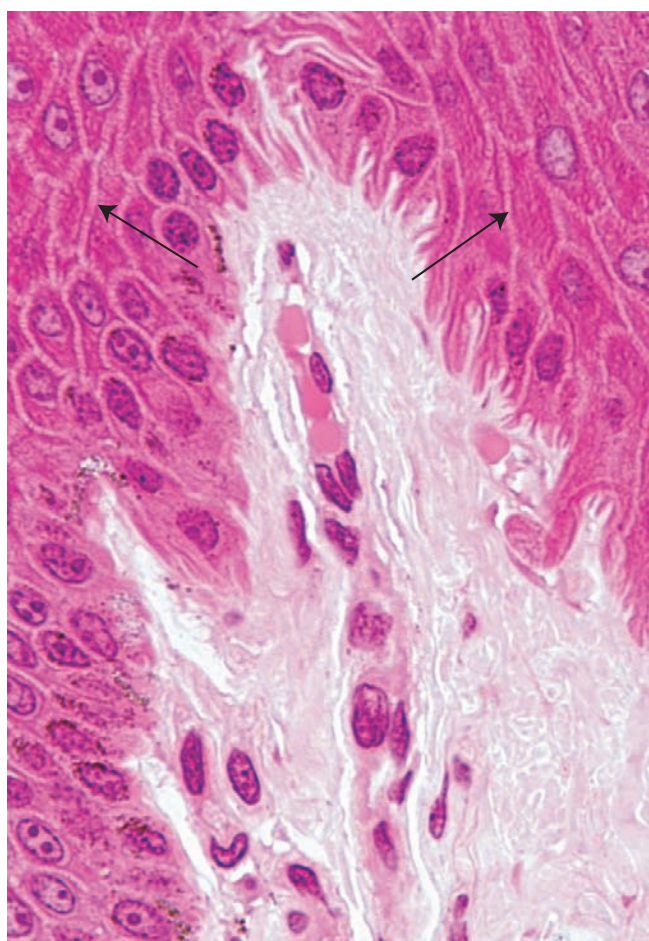


FIGURA 4

FIGURA 1. Mitosis. Blástula de corégono. Inclusión en parafina. 270×.

En esta microfotografía de una blástula de corégono, pez salmónido, pueden verse las diferentes etapas de la mitosis. En la primera etapa mitótica, la **profase** (P), los cromosomas filamentosos cortos (*flecha*) aparecen en el centro de la célula. Ya no está la envoltura nuclear. Durante la **metafase** (M), los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial de la célula. Los cromosomas comienzan a migrar hacia los polos opuestos de la célula al principio de la **anafase** (A) y se separan cada vez más conforme progresa esta etapa de la mitosis (*puntas de flecha*). Obsérvense las regiones densas, los **centríolos** (c), hacia donde migran los cromosomas.

FIGURA 3. Mitosis. Ratón. Microscopia electrónica. 9.423×.

El tejido neonatal se caracteriza por la actividad mitótica, con muchas células en proceso de proliferación. Obsérvese que el **núcleo** (N) en interfase tiene una **envoltura nuclear** (NE) típica, cromatina perinuclear (*asterisco*), nucléolo y poros nucleares. Sin embargo, una célula en la fase mitótica del ciclo celular pierde la envoltura nuclear y el nucléolo, mientras que sus **cromosomas** (Ch) pueden verse muy bien. Estos cromosomas ya no están alineados en la placa ecuatorial, sino que están migrando hacia polos celulares opuestos, lo cual indica que la célula está en el principio o la mitad de la etapa de anafase de la mitosis. Obsérvense los orgánulos citoplasmáticos, como mitocondrias, RER y aparato de Golgi.

FIGURA 2. Mitosis. Blástula de corégono. Inclusión en parafina. 540×.

Al principio de la etapa de telofase de la división mitótica, los **cromosomas** (Ch) han alcanzado los polos opuestos de la célula. La membrana celular se estrangula para separar la célula en dos células hijas nuevas y forma un surco de segmentación (*puntas de flecha*). El aparato fusil mitótico se ve como líneas horizontales paralelas (*flecha*) que al final formarán el cuerpo medio. Conforme avanza la telofase, las dos células hijas nuevas desenrollan sus cromosomas y restablecen las envolturas nucleares y los nucléolos.

REFERENCIAS

| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-------------------|----------|---------|
| A | Anafase | M | Metafase | P | Profase |
| c | Centríolo | N | Núcleo | | |
| Ch | Cromosoma | NE | Envoltura nuclear | | |

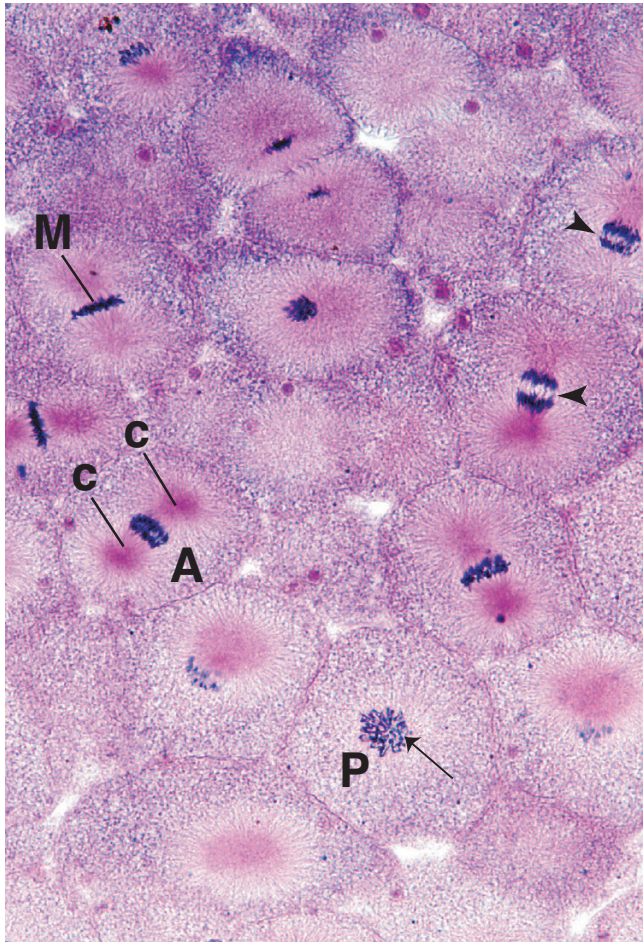


FIGURA 1

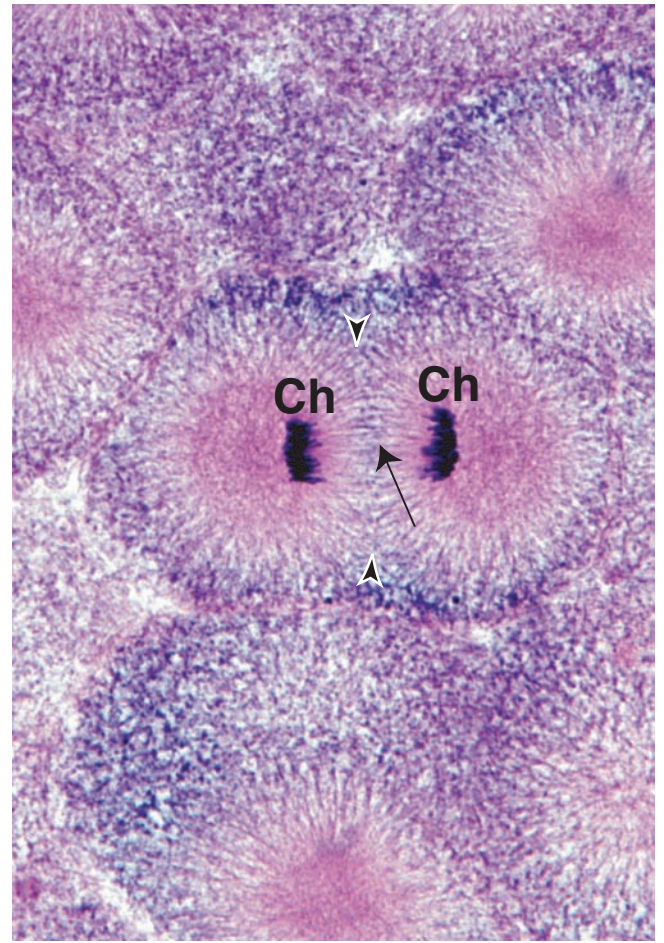


FIGURA 2

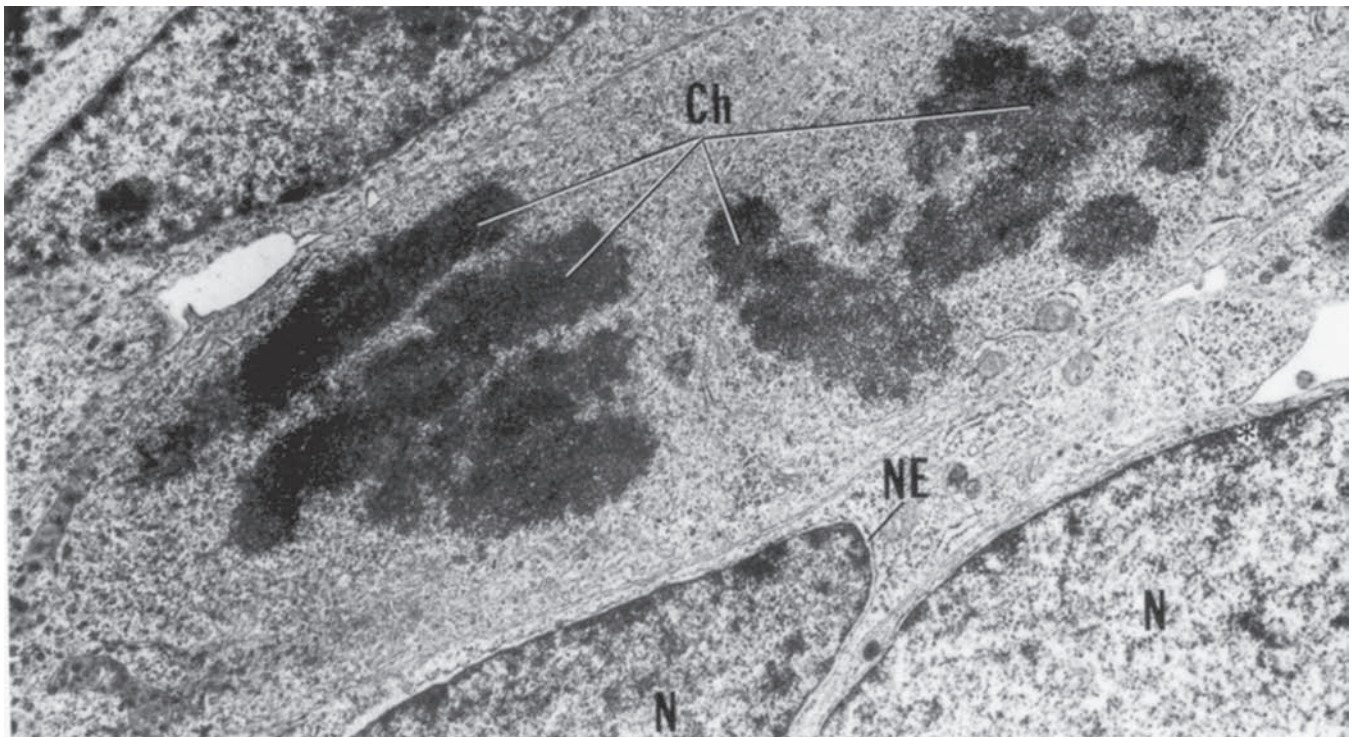


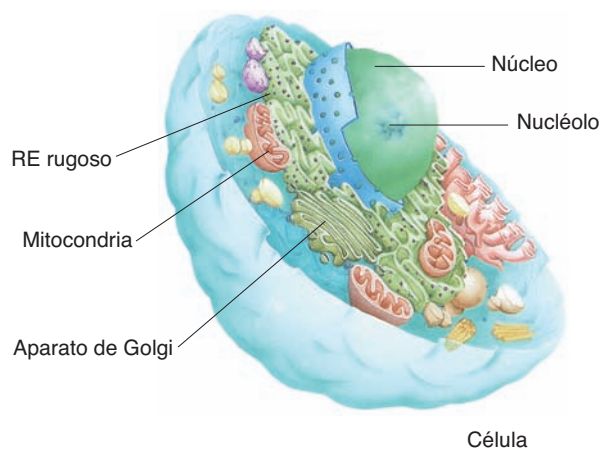
FIGURA 3

FIGURA 1. Célula típica. Hipófisis. Rata. Microscopia electrónica. 8.936x.

Las gonadotrofas de la glándula hipófisis representan un ejemplo excelente de una célula típica dado que albergan muchos de los orgánulos citoplasmáticos que tienen la mayor parte de las células. El citoplasma está limitado por una membrana celular (*puntas de flecha*) que se destaca muy bien, en especial donde se acerca al plasmalema de las células electrodensas contiguas. Las **mitocondrias** (m) no son abundantes pero se identifican con facilidad, en especial en los cortes longitudinales, debido a que sus crestas (*flechas*) están distribuidas de un modo característico. Dado que elabora activamente un producto de secreción que debe envasarse y liberarse hacia el entorno celular, esta célula tiene un **aparato de Golgi** (GA) bien desarrollado que está situado cerca del **núcleo** (N). Obsérvese que el aparato de Golgi está formado por varios rimeros de cisternas aplanadas. Además, esta célula está bien provista de **retículo endoplasmático rugoso** (RER), lo cual indica una síntesis activa de

proteínas. En el citoplasma también hay gránulos de secreción (*asteriscos*), que son componentes temporales.

El núcleo está limitado por la **envoltura nuclear** (NE) típica, la cual está compuesta por una membrana nuclear externa tachonada de ribosomas y una membrana nuclear interna. Son obvios la cromatina periférica y los islotes cromatínicos, al igual que la cromatina asociada con el **nucléolo** (NC). Las regiones claras dentro del núcleo corresponden al nucleoplasma, el cual constituye el componente líquido del núcleo. El **nucléolo** (n) tiene un aspecto esponjoso por su contenido de materiales electrolúcidos y electrodensos que aparecen suspendidos libres en el nucleoplasma. La región electrodensa está formada por los componentes granular (*pars granulosa*) y fibrilar (*pars fibrosa*), mientras que las regiones electrolúcidas probablemente correspondan al nucleoplasma en el que está suspendido el nucléolo. (De Stokreef JC, Reifel CW, Shin SH. A possible phagocytic role for folliculo-stellate cells of anterior pituitary following estrogen withdrawal from primed male rats. Cell Tissue Res 1986;243:255-261).



REFERENCIAS

| | | | | | |
|-----------|------------------|-----------|------------------------------------|------------|--------------------------------|
| GA | Aparato de Golgi | n | Nucléolo | NE | Envoltura nuclear |
| m | Mitocondria | NC | Cromatina asociada con el nucléolo | RER | Retículo endoplasmático rugoso |
| N | Núcleo | | | | |

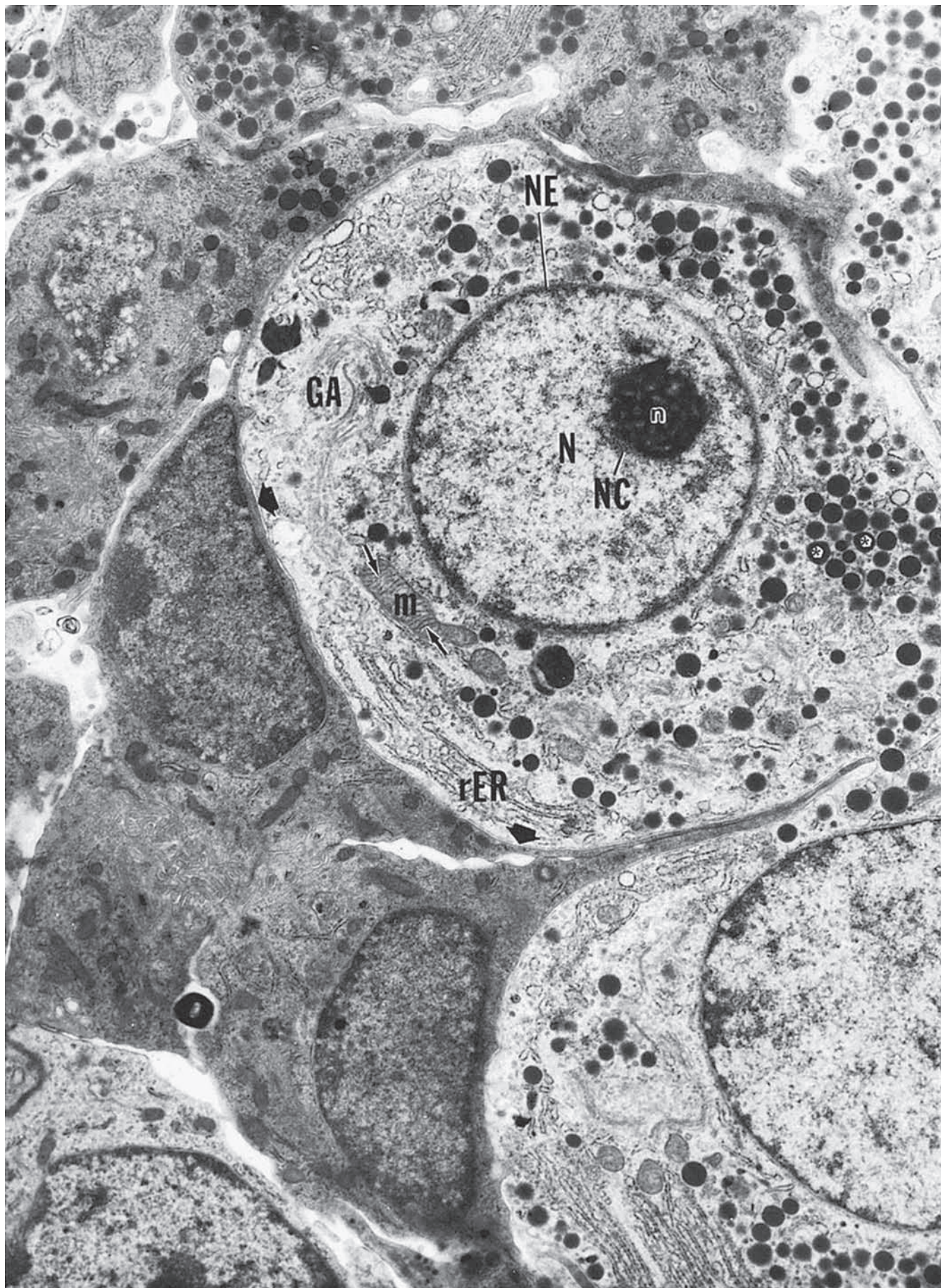


FIGURA 1

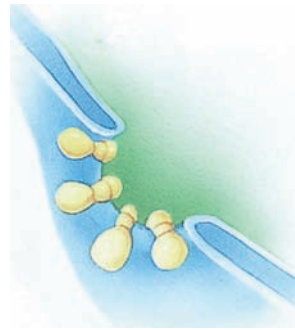
FIGURA 1. Núcleo y citoplasma. Hígado. Ratón. Microscopía electrónica. 44.265×.

En esta microfotografía electrónica se ve muy bien el nucleoplasma y la **cromatina** (c) del **núcleo** (N). Obsérvese que las membranas interna (*puntas de flecha*) y externa (*flechas dobles*) de la

envoltura nuclear se fusionan para formar los **poros nucleares** (NP). El RER tiene **ribosomas** (r) abundantes. Nótese que hay muchas **mitocondrias** (m) con membrana doble y **crestas** (cr) bastante obvias.



Retículo endoplasmático rugoso



Complejo de poro nuclear

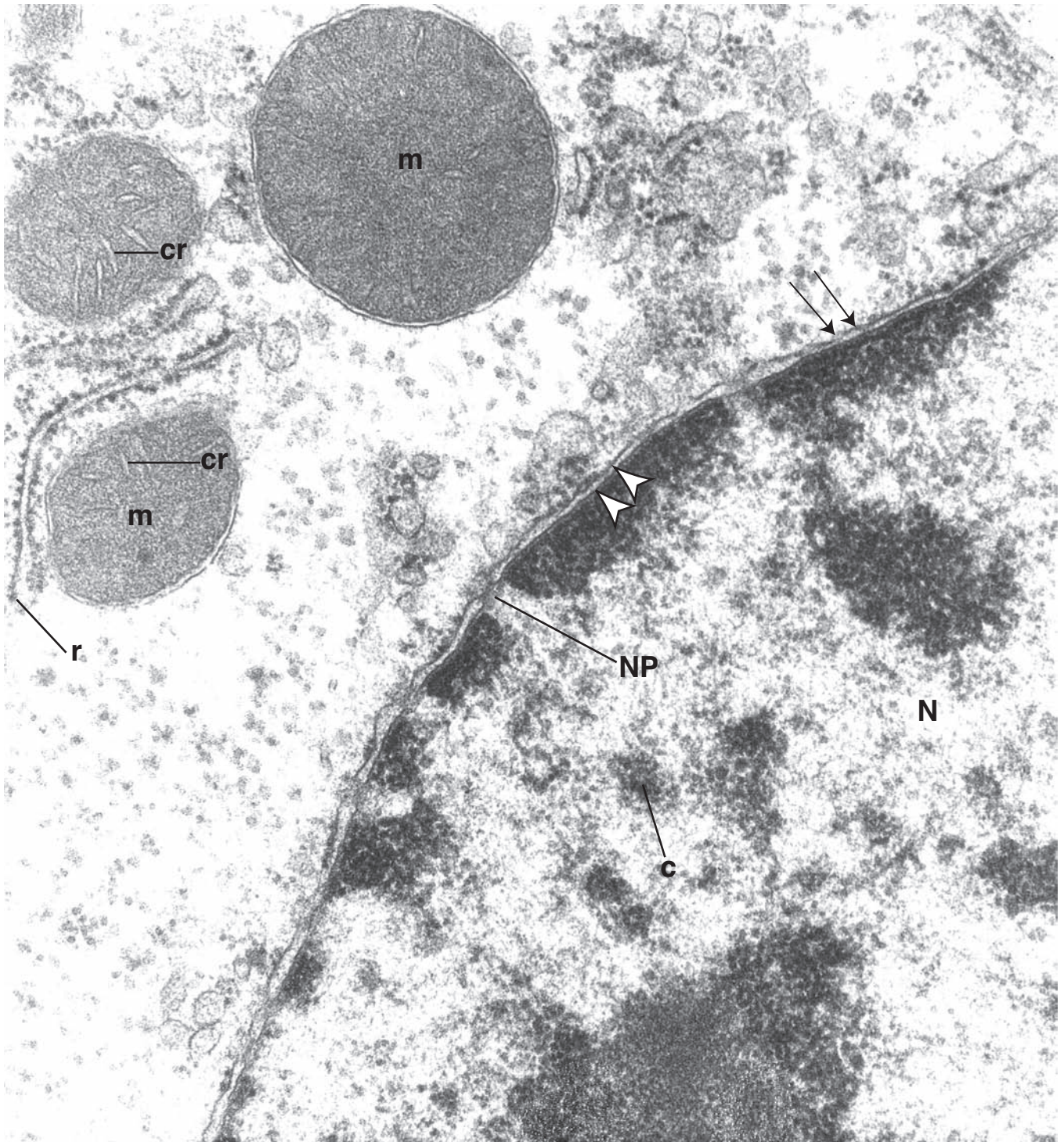


FIGURA 1

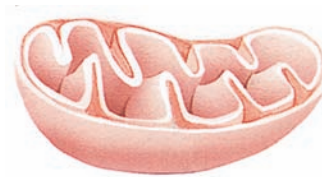
FIGURA 1. Núcleo y citoplasma. Hígado. Ratón.
Microscopia electrónica. 20.318×.

Esta microfotografía electrónica de una célula hepática muestra el **núcleo (N)** con su **cromatina (c)** condensada y muchos orgánulos citoplasmáticos. Obsérvese que las **mitocondrias (m)** tienen grá-

nulos matriciales electrodensos (*flechas*) dispersos en los espacios que hay entre las crestas de la matriz. En la región perinuclear está el **aparato de Golgi (GA)**, que cumple una función activa en el envasado de material en **vesículas de condensación (CV)**. El **retículo endoplasmático rugoso (RER)** es muy obvio a causa de sus **ribosomas (R)**, mientras que el **retículo endoplasmático liso (SER)** no se destaca tanto.



Aparato de Golgi



Mitochondria

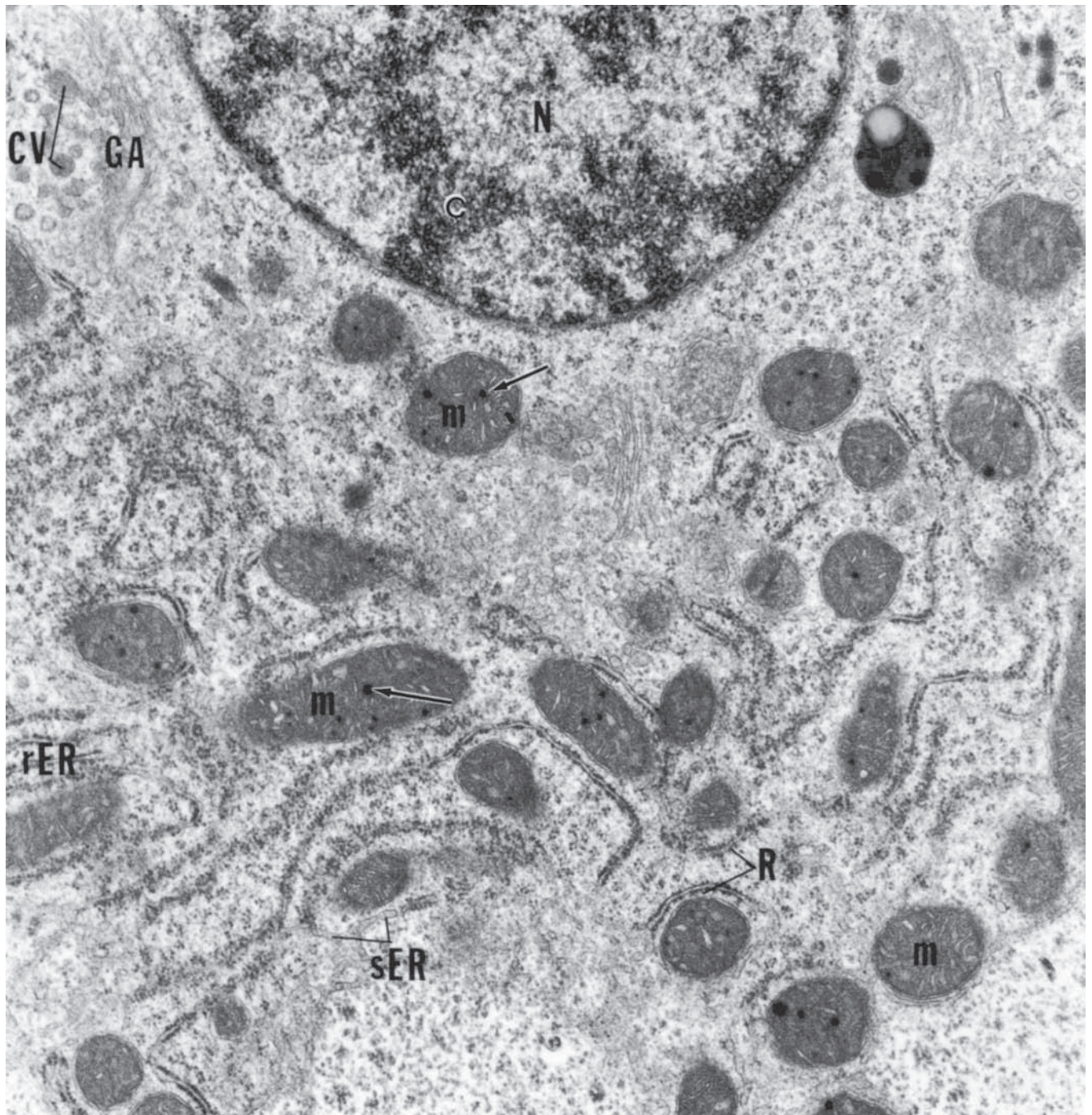


FIGURA 1

FIGURA 1. Aparato de Golgi. Ratón. Microscopia electrónica. 28.588×.

El aparato de Golgi extenso de esta célula secretora tiene varias **cis-ternas** (Ci) aplanadas que están formadas por membrana y se apilan

una sobre otra. La cara convexa (cara **cis**) (ff) recibe las **vesículas de transferencia** (TV) provenientes del RER. La **red trans-Golgi** (mf), cóncava, libera **vesículas de condensación** (CV), que contienen el producto de secreción. (De Gartner LP, Seibel W, Hiatt JL, et al. A fine-structural analysis of mouse molar odontoblast maturation. Acta Anat (Basilea) 1979;103:16-33).



Aparato de Golgi



Mitocondria

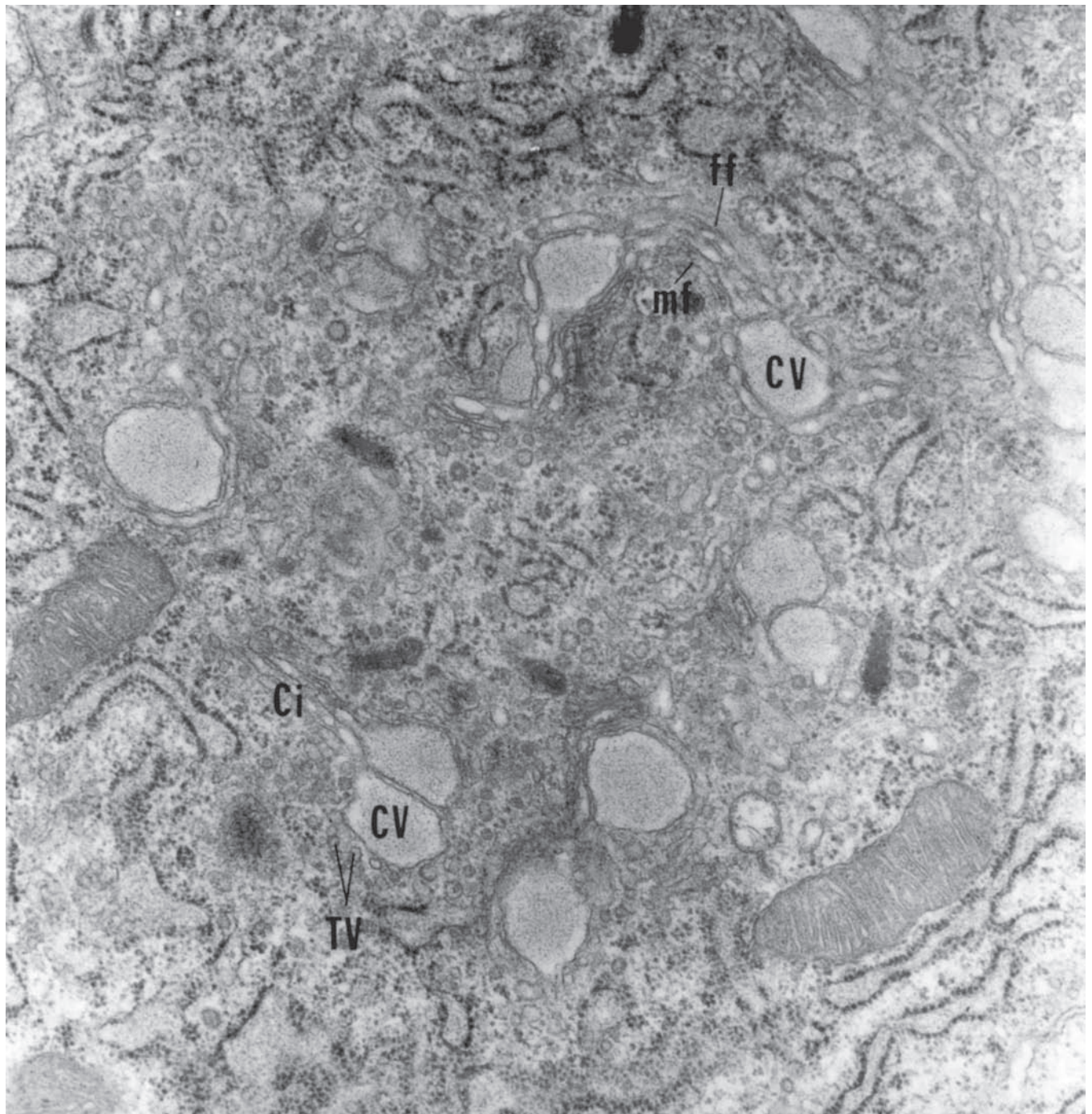


FIGURA 1

**FIGURA 1. Mitocondrias. Microscopia electrónica.
69.500x.**

La región basal de esta célula contiene varias mitocondrias. La membrana externa de cada mitocondria es lisa, mientras que su membrana interna está plegada para formar **crestas** (Cr), como se advierte en el orgánulo seccionado en sentido longitudinal.



Mitocondria



FIGURA 1