

## ADN recombinante

Los científicos han desarrollado técnicas para la inserción de genes provenientes de otros organismos en varias células huésped. La manipulación celular con esta técnica puede hacer que el organismo huésped produzca proteínas que no sintetizaría en condiciones normales. Los organismos alterados de esta forma se denominan **recombinantes**, y su ADN —una combinación de ADN de diferentes orígenes— se llama **ADN recombinante**. Cuando el ADN recombinante funciona en forma adecuada, el huésped sintetiza la proteína especificada por el nuevo gen que adquirió. La tecnología que surgió de la manipulación del material genético se conoce como **ingeniería genética**.

Las aplicaciones prácticas de la tecnología del ADN recombinante son muchas. Las cepas de bacterias recombinantes producen actualmente cantidades importantes de muchas sustancias terapéuticas, como la **hormona de crecimiento humana (hGH)**, necesaria para el crecimiento y el metabolismo normales; la **insulina**, una hormona que regula los niveles de glucosa en sangre y se utiliza en el tratamiento de la diabetes; el **interferón (IFN)**, un compuesto antiviral (y posiblemente anticanceroso) y la **eritropoyetina (EPO)**, hormona que estimula la producción de glóbulos rojos. ■

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

23. ¿Cuáles son las diferencias entre la transcripción y la traducción?

## DIVISIÓN CELULAR

### ► OBJETIVOS

Discutir las etapas, los fenómenos y el significado de la división celular somática y reproductiva.

Describir las señales que impulsan la división celular.

Casi todas las células del cuerpo humano experimentan el proceso de **división celular** mediante el cual se reproducen a sí mismas. Los dos tipos de división celular —somática y reproductiva— cumplen diferentes funciones en el organismo.

Una **célula somática** es cualquier célula del cuerpo que no sea una célula germinal, es decir, un gameto (espermatozoide u óvulo) o cualquier precursor celular que se convertirá en un gameto. En la **división de las células somáticas**, la célula sufre una división nuclear denominada **mitosis** y una división citoplasmática llamada **citocinesis** para producir dos células idénticas, cada una con el mismo número y tipo de cromosomas que la célula original. La división celular somática permite el reemplazo de las células muertas o dañadas y agrega células nuevas durante el crecimiento tisular.

La **división celular reproductiva** es el mecanismo que lleva a la formación de los gametos, las células necesarias para formar la generación siguiente de organismos de reproducción sexual. Este proceso consiste en un tipo especial de división celular en dos pasos llamado **meiosis**, en el que el número de cromosomas presentes en el núcleo se reduce a la mitad.

## División celular somática

El **ciclo celular** es una secuencia ordenada de procesos mediante el cual las células somáticas duplican su contenido y se dividen en dos. Las células humanas, como las del cerebro, el estómago y los riñones, tienen 23 pares de cromosomas, o sea, un total de 46. Se hereda un miembro de cada par de un progenitor. Los dos cromosomas que forman el par se denominan **cromosomas homólogos** u **homólogos** (homo-, de *hómoios*, igual) y contienen genes similares dispuestos en el mismo orden (o casi en el mismo orden). Cuando se examinan con el microscopio óptico, los cromosomas homólogos generalmente lucen muy similares. La excepción a esta regla es el par de **cromosomas sexuales**, designados como X e Y. En las mujeres el par homólogo de cromosomas sexuales consta de dos cromosomas X grandes; en los hombres el par consiste en un cromosoma X y en un cromosoma Y mucho más pequeño. Como las células somáticas contienen dos juegos de cromosomas, se denominan **células diploides** y se las simboliza como **2n**.

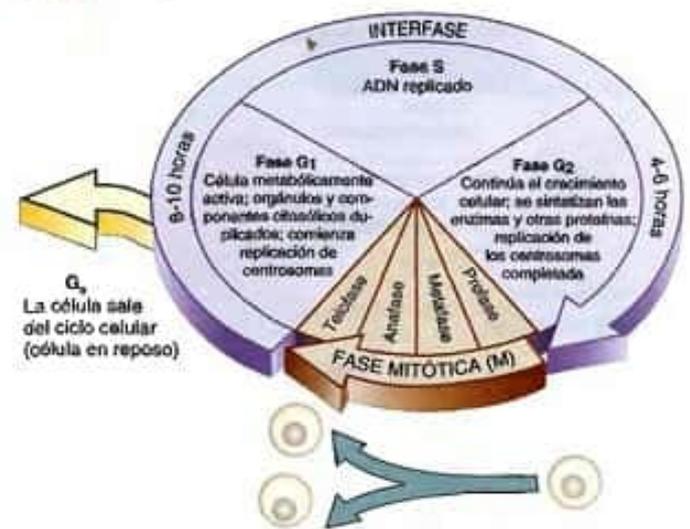
Cuando una célula se reproduce, se replican (duplican) todos sus cromosomas para que los genes pasen a la próxima generación de células. El ciclo celular abarca dos grandes períodos: la **interfase**, en el que la célula no está en división y la **fase mitótica (M)**, cuando la célula se encuentra en división (fig. 3-28).

### Interfase

Durante la **interfase** la célula replica su ADN mediante un proceso que será descrito más adelante. También produce orgánulos adicionales y componentes citosólicos como anticipo de la división

**Fig. 3-28 El ciclo celular.** No está ilustrada la citocinesis, la división del citoplasma, que tiene lugar durante la anafase tardía o en la telofase temprana de la fase mitótica.

En un ciclo celular completo, la célula inicial duplica su contenido y se divide en dos células idénticas.



celular. La interfase es un estado de gran actividad metabólica; durante este período la célula experimenta su mayor crecimiento. La interfase presenta tres fases:  $G_1$ , S y  $G_2$  (fig. 3-28). La S se refiere a la *síntesis* del ADN. Como las fases G son períodos en los que no existe actividad relacionada con la duplicación del ADN, se piensa que constituyen interrupciones en la duplicación del ADN.

La fase  $G_1$  es el intervalo entre la fase mitótica y la fase S. Durante  $G_1$  la célula es metabólicamente activa; replica la mayoría de sus orgánulos y componentes citosólicos pero no su ADN. La replicación de los centrosomas también comienza en la fase  $G_1$ . Casi todas las actividades celulares descritas en este capítulo tienen lugar en la fase  $G_1$ . En una célula en la que cada ciclo dura 24 horas, la fase  $G_1$  dura entre 8 y 10 horas. Sin embargo, la duración de esta fase es bastante variable. Es muy corta en muchas células embrionarias o cancerosas. Las células que permanecen en  $G_1$  durante mucho tiempo y que tal vez nunca se dividan nuevamente, se dice que están en un estado  $G_0$ . La mayoría de las células nerviosas se hallan en el estado  $G_0$ . Sin embargo, una vez que una célula ingresa en la fase S, está destinada a dividirse.

La fase S, el intervalo entre  $G_1$  y  $G_2$ , dura alrededor de 8 horas. Durante la fase S tiene lugar la replicación del ADN. Como resultado, las dos células idénticas que se forman durante la división celular tendrán exactamente el mismo material genético. La fase  $G_2$  es el lapso entre la fase S y la fase mitótica. Dura entre 4 y 6 horas. Durante  $G_2$ , el crecimiento celular continúa, las enzimas y otras proteínas se sintetizan como preparación para la división celular y se completa la replicación de los centrosomas. Cuando el ADN se replica en la fase S, su estructura helicoidal se desarrolla parcialmente y las dos cadenas se separan en los puntos donde los puentes de hidrógeno conectan los pares de bases (fig. 3-29). Cada base expuesta de la cadena anterior de ADN luego se aparea con la base complementaria de un nucleótido recién sintetizado. Una cadena nueva de ADN se forma a medida que se suceden los enlaces químicos entre nucleótidos vecinos. El desenrollamiento y el apareamiento de bases complementarias continúan hasta que cada una de las dos cadenas originales de ADN se une con una cadena complementaria recién sintetizada. La molécula original de ADN se ha convertido en dos moléculas idénticas de ADN.

Una vista microscópica de una célula en interfase muestra una membrana nuclear claramente definida, un nucléolo y una masa de cromatina (fig. 3-30a). Una vez que la célula completa sus actividades correspondientes a las fases  $G_1$ , S y  $G_2$  de la interfase, comienza la fase mitótica.

### Fase mitótica

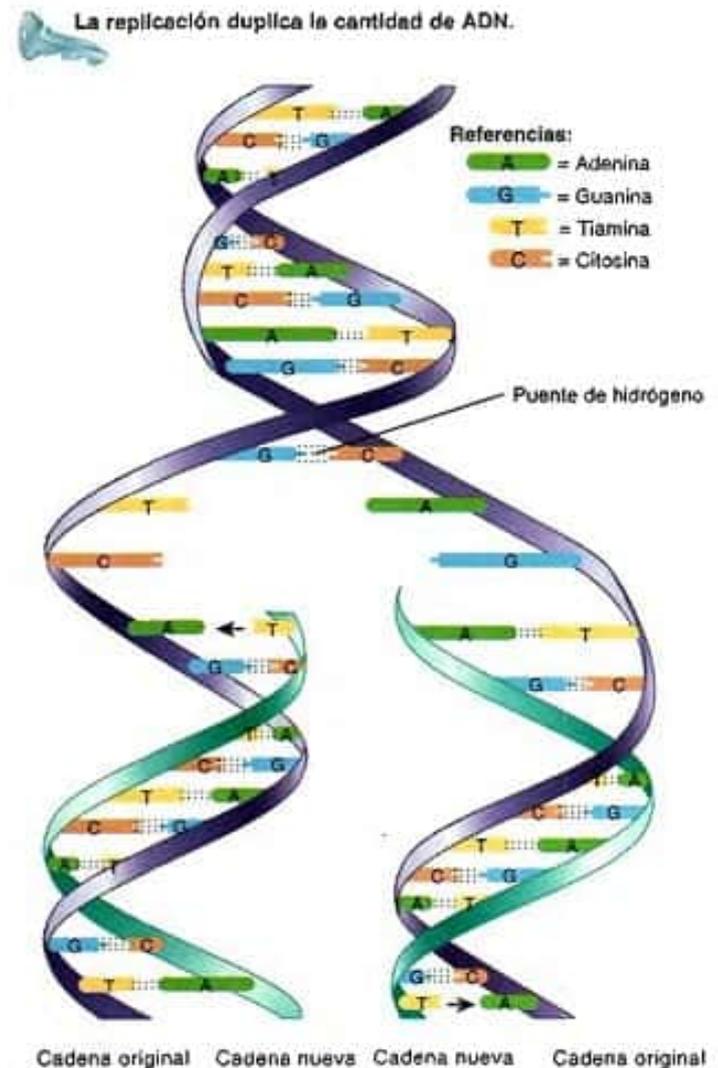
La fase mitótica (M) del ciclo celular consiste en la división nuclear, o mitosis, y en la división citoplasmática, o citocinesis. que dan origen a dos células idénticas. Los procesos que tienen lugar durante la mitosis y la citocinesis son claramente visibles con el microscopio porque la cromatina se condensa en cromosomas.

**DIVISIÓN NUCLEAR: MITOSIS.** La **mitosis** (mito-, de *mitos*, hilo) es la distribución de dos juegos de cromosomas en dos núcleos separados. El proceso da como resultado la repartición *exacta* de la información genética. Para facilitar su estudio, los biólogos distinguen cuatro etapas: profase, metafase, anafase y telofase. Sin embargo, la

mitosis es un proceso continuo; una etapa se une imperceptiblemente con la siguiente.

**1. Profase.** Durante la profase temprana, las fibras de la cromatina se condensan y acortan para formar los cromosomas que son visibles con el microscopio óptico (fig. 3-30b). El proceso de condensación puede impedir que las cadenas largas de ADN se enrollen a medida que se desplazan durante la mitosis. Como la replicación del ADN tuvo lugar durante la fase S de la interfase, cada cromosoma en la profase consiste en un par de *cromátides* de cadena doble totalmente idénticas. El **centrómero** es una región comprimida de la

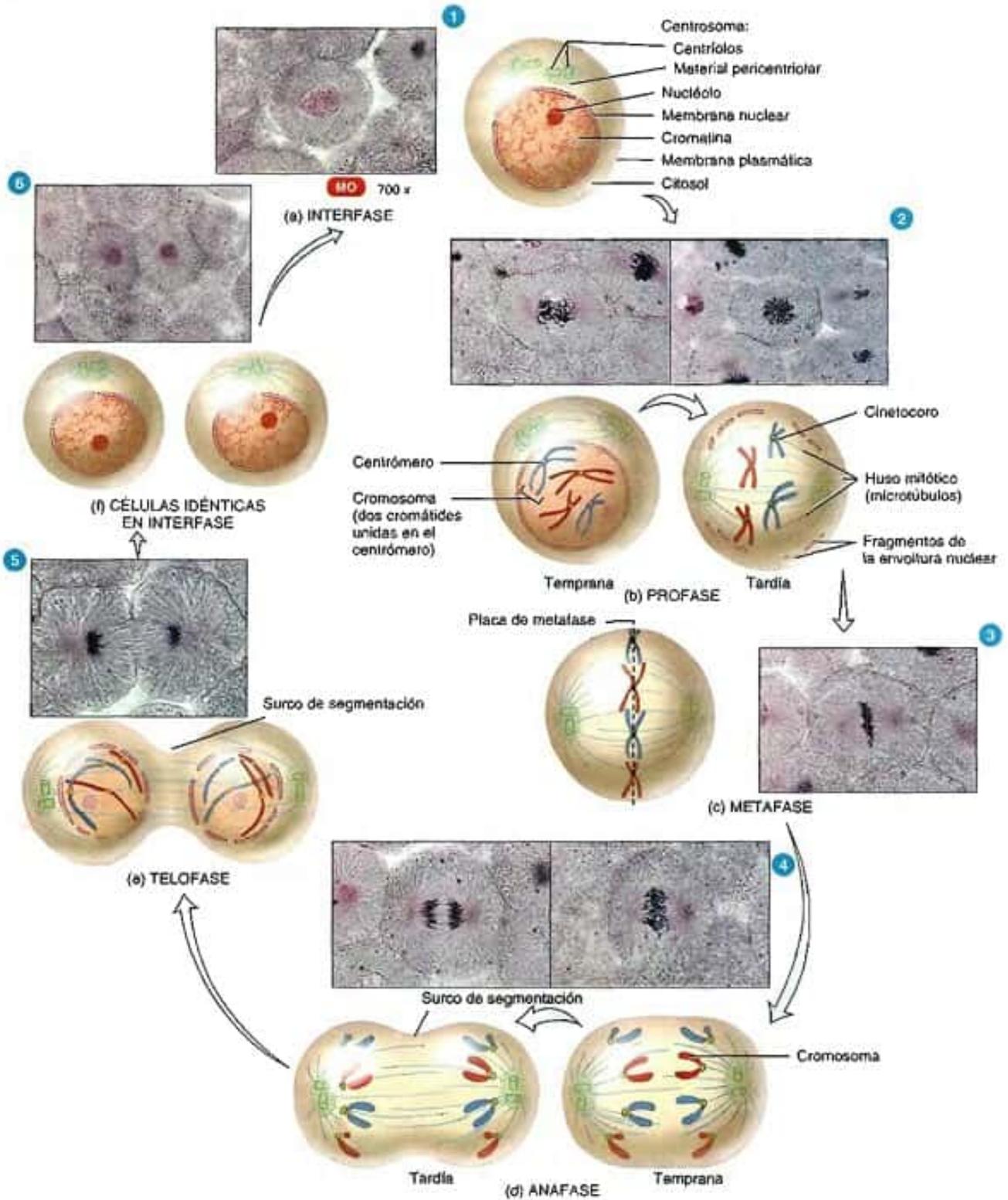
**Fig. 3-29 Replicación del ADN.** Las dos cadenas de la doble hélice se separan por la ruptura de los puentes de hidrógeno (ilustradas como líneas de puntos) entre los nucleótidos. Los nucleótidos nuevos complementarios se adhieren a sus sitios correspondientes y se sintetiza una cadena nueva de ADN a lo largo de cada una de las cadenas originales. Las flechas indican los puentes de hidrógeno que se forman nuevamente entre los pares de bases.



¿Por qué es crucial que la replicación del ADN se produzca antes de la citocinesis durante la división celular somática?

**Fig. 3-30** División celular: mitosis y citocinesis. Siga la secuencia desde la parte superior de la figura y prosiga en el sentido de las agujas del reloj para completar el proceso.

En la división celular somática, una única célula inicial se divide para producir dos células diploides idénticas.



¿Cuándo comienza la citocinesis?

cromatina que mantiene juntas a las dos cromátidas. En el exterior de cada centrómero se halla un complejo proteico conocido como **cinetocoro**. Más adelante en la profase, las tubulinas del material pericentriolar de los centrosomas comienzan a formar el **huso mitótico**, una disposición en forma de pelota de rugby de microtúbulos que se adhieren al cinetocoro (fig. 3-30b). A medida que los microtúbulos se alargan, traccionan los centrosomas hacia los polos (extremos) de la célula para que de esa forma el huso mitótico se extienda de un polo al otro. El huso mitótico es responsable de la separación de las cromátidas hacia los polos opuestos de la célula. Luego, el nucléolo desaparece y la envoltura nuclear se disgrega.

**2. Metafase.** Durante la metafase, los microtúbulos alinean los centrómeros de los pares de cromátidas en el centro exacto del huso mitótico (fig. 3-30c). Esta región se denomina **plano de la metafase**.

**3. Anafase.** Durante la anafase, los centrómeros se dividen y separan a los dos miembros de cada par de cromátidas, que se dirigen hacia los polos opuestos de la célula (fig. 3-30d). Una vez separadas, las cromátidas reciben el nombre de cromosomas. A medida que los cromosomas son traccionados por los microtúbulos durante la anafase, adoptan la forma de V ya que los centrómeros toman la delantera y arrastran a los cromosomas como si fueran brazos que los siguen en busca del polo celular.

**4. Telofase.** La etapa final de la mitosis, la telofase, comienza después de que ha concluido el movimiento de los cromosomas (fig. 3-30e). Los juegos idénticos de cromosomas, ahora situados en polos opuestos de la célula, se desenrollan y vuelven a adoptar la disposición de cromatina laxa. Alrededor de cada masa de cromatina se forma una envoltura nuclear, el nucléolo reaparece en el núcleo idéntico y el huso mitótico se desintegra.

**DIVISIÓN CITOPASMÁTICA: CITOCINESIS.** La división del citoplasma celular y sus orgánulos en dos células idénticas se denomina **citocinesis** (cito- + -cinesis, de *kinesis*, movimiento). Este proceso comienza en la anafase tardía con la formación de un **surco de segmentación**, una pequeña hendidura en la membrana plasmática y se completa después de la telofase. El surco generalmente aparece a mitad de camino entre los centrosomas y se extiende a lo largo de la periferia de la célula (fig. 3-30 d y e). Los microfilamentos de actina que están justo por dentro de la membrana plasmática forman un **anillo contráctil** que tracciona la membrana llevándola progresivamente hacia dentro. El anillo estrecha el centro de la célula, como cuando se ajusta un cinturón alrededor de la cintura, y en última instancia la divide en dos. Puesto que el plano del surco de segmentación es siempre perpendicular al huso mitótico, los dos juegos de cromosomas terminan en células separadas. Cuando la citocinesis se completa, comienza la interfase (fig. 3-30f).

La secuencia de procesos puede resumirse como sigue:

$G_1 \rightarrow \text{Fase S} \rightarrow \text{Fase G}_2 \rightarrow \text{mitosis} \rightarrow \text{citocinesis}$

El cuadro 3-3 resume los fenómenos que tienen lugar durante la división de las células somáticas.

### El huso mitótico y el cáncer

Una de las características distintivas de las células cancerosas es su división descontrolada. La masa de células resultante de esta di-

**CUADRO 3-3** Acontecimientos del ciclo celular somático

| Fase                      | Actividad   |
|---------------------------|---|
| <b>Interfase</b>          | Período entre las divisiones celulares; los centrosomas no son visibles al microscopio óptico.  |
| <b>Fase G<sub>1</sub></b> | La célula metabólicamente activa duplica sus orgánulos y sus componentes citosólicos; comienza la replicación de los cromosomas.  |
| <b>Fase S</b>             | (Las células que permanecen en la fase G <sub>1</sub> durante un período prolongado y, posiblemente, nunca vuelven a dividirse, se consideran en estado G <sub>0</sub> ).     |
| <b>Fase G<sub>2</sub></b> | Replicación del ADN y los centrosomas. Crecimiento celular, continúa la síntesis de enzimas y otras proteínas; se completa la replicación del centrosoma.                     |
| <b>Fase mitótica</b>      | La célula madre produce células idénticas con cromosomas idénticos; los cromosomas son visibles al microscopio óptico.  |
| <b>Mitosis</b>            | División nuclear; distribución de dos conjuntos de cromosomas en núcleos separados.   |
| <b>Profase</b>            | Las fibras de cromatina se condensan en un par de cromátidas; el nucléolo y la envoltura nuclear desaparecen; los centrosomas se desplazan hacia polos opuestos de la célula. |
| <b>Metafase</b>           | Los centrómeros y los pares de cromátidas se alinean en la placa de la metafase.  |
| <b>Anafase</b>            | Los centrómeros se separan; juegos idénticos de cromosomas se desplazan hacia los polos opuestos de la célula.  |
| <b>Telofase</b>           | Reaparecen la envoltura nuclear y el nucléolo; los cromosomas recuperan la forma de cromatina; desaparece el huso mitótico.   |
| <b>Citocinesis</b>        | División citoplasmática; un anillo contráctil forma un surco de separación alrededor del centro de la célula, que divide el citoplasma en dos porciones iguales y separadas.  |

visión se denomina neoplasia o tumor. Una de las formas de tratar el cáncer es mediante la quimioterapia, el uso de fármacos antitumorales. Algunas de estos fármacos detienen la división celular por la inhibición de la formación del huso mitótico. Infortunadamente, estos tipos de fármacos anticancerosos también matan a todas las células de división rápida en el organismo y producen efectos adversos como náuseas, diarrea, caída del cabello, fatiga y resistencia disminuida a las enfermedades. ■

### Control del destino celular

Una célula tiene tres destinos posibles —permanecer viva y funcionando sin dividirse, crecer y dividirse, o morir. La homeostasis se mantiene cuando existe un equilibrio entre la proliferación celular y la muerte celular. Las señales que le indican a una célula cuándo está en la fase G<sub>0</sub>, cuándo debe dividirse y cuándo morir han sido objeto de investigaciones intensas y fructíferas en los últimos años.

Dentro de la célula se hallan las enzimas **proteincinasas dependientes de ciclinas (Cdk)** que pueden transferir un grupo fosfato del ATP a una proteína para activarla; otras enzimas pueden eli-

minar el grupo fosfato de esta misma proteína para desactivarla. La activación y desactivación de las Cdk en el momento apropiado es crucial para la iniciación y la regulación de la replicación del ADN, la mitosis y la citocinesis.

El cambio entre los estados activo e inactivo de las Cdk es una tarea que está a cargo de las proteínas denominadas **ciclinas** porque sus niveles aumentan y disminuyen durante el ciclo celular. La unión de una ciclina específica y una molécula de Cdk desencadena varios sucesos que controlan la división celular.

La activación de complejos específicos de ciclina-Cdk determina la progresión del ciclo celular de  $G_1$  a  $S$  y  $G_2$  y por último, a la mitosis, en un orden específico. Si cualquier paso de esta secuencia se retrasa, todos los pasos posteriores se demoran también para mantener la secuencia normal. Los niveles de ciclinas en la célula revisitan gran importancia para determinar la coordinación y la secuencia de fenómenos en la división celular. Por ejemplo, el nivel de ciclinas que promueven el paso del estado  $G_2$  a la mitosis aumenta durante las fases  $G_1$ ,  $S$  y  $G_2$  y durante la mitosis. Los altos niveles de estas ciclinas promueven la mitosis, pero al final de ésta los niveles declinan rápidamente y el proceso de división concluye. La destrucción de estas ciclinas, así como de otras presentes en la célula, es tarea de los proteasomas.

La muerte celular también está regulada. A lo largo de la vida de un organismo, ciertas células sufren **apoptosis** (apo-, de *apó*, fuera, y -ptosis, de *ptósis*, caída), una muerte celular ordenada y genéticamente programada. En la apoptosis, un agente desencadenante proveniente del exterior o del interior de la célula genera la activación de genes de "suicidio celular", que producen enzimas que dañan a la célula de varias formas, como la alteración de su citoesqueleto y del núcleo. El resultado es que la célula encoge y se separa de células vecinas. A pesar de que la membrana plasmática permanece intacta, el ADN dentro del núcleo se fragmenta y el citoplasma se contrae. Los fagocitos vecinos a la célula en apoptosis ingieren a la célula moribunda. Esta función de los fagocitos está relacionada con una proteína receptora de la membrana plasmática de los fagocitos que se une a un lípido de la membrana plasmática de la célula suelta. La apoptosis elimina células que no son necesarias durante el desarrollo fetal, como la membrana que une a los dedos. Este proceso continúa después del nacimiento para regular el número de células en los tejidos y destruir las células potencialmente nocivas, como las células cancerosas.

La apoptosis es un tipo normal de muerte celular; al contrario, la **necrosis** es un tipo patológico de muerte celular como consecuencia del daño tisular. En la necrosis, muchas células adyacentes al sitio de lesión se vuelven tumefactas, estallan y vuelcan su contenido citoplasmático en el tejido intersticial. Los restos celulares generalmente estimulan una respuesta inflamatoria por el sistema inmunitario, un proceso que no se presenta en la apoptosis.



### Genes supresores de tumores

Las anomalías en los genes que regulan el ciclo celular o la apoptosis se asocian con muchas enfermedades. Por ejemplo, la alteración de los genes denominados **supresores de tumores**, los cuales producen proteínas que normalmente inhiben la división celular, es la causa de ciertos tipos de cáncer. La pérdida o alteración de un

gen supresor tumoral denominado *p53*, localizado en el cromosoma 17, es la alteración genética más común que lleva a una amplia variedad de tumores, como el cáncer de mama y el cáncer de colon. La proteína *p53* normal detiene a la célula en la fase  $G_1$  e impide la división celular. La proteína *p53* normal también participa en la reparación del ADN dañado e induce la apoptosis en las células donde la reparación del ADN no ha sido satisfactoria. Por tal razón, el gen *p53* ha sido denominado "el ángel guardián del genoma". ■

## División celular reproductiva

En la reproducción sexual, cada nuevo organismo es el resultado de la unión de dos gametos diferentes (fecundación), cada uno producido por un progenitor. Si los gametos tuviesen el mismo número de cromosomas que las células somáticas, el número de cromosomas se duplicaría en la fecundación. La **meiosis** (de *meiosis*, disminución) es la división celular reproductiva que tiene lugar en las gónadas (ovarios y testículos) y produce gametos en los que el número de cromosomas se redujo a la mitad. Como resultado, los gametos contienen un juego simple de 23 cromosomas y, por ende, son **células haploides** (haplo-, de *haplós*, simple). La fecundación restaura el número diploide de cromosomas.

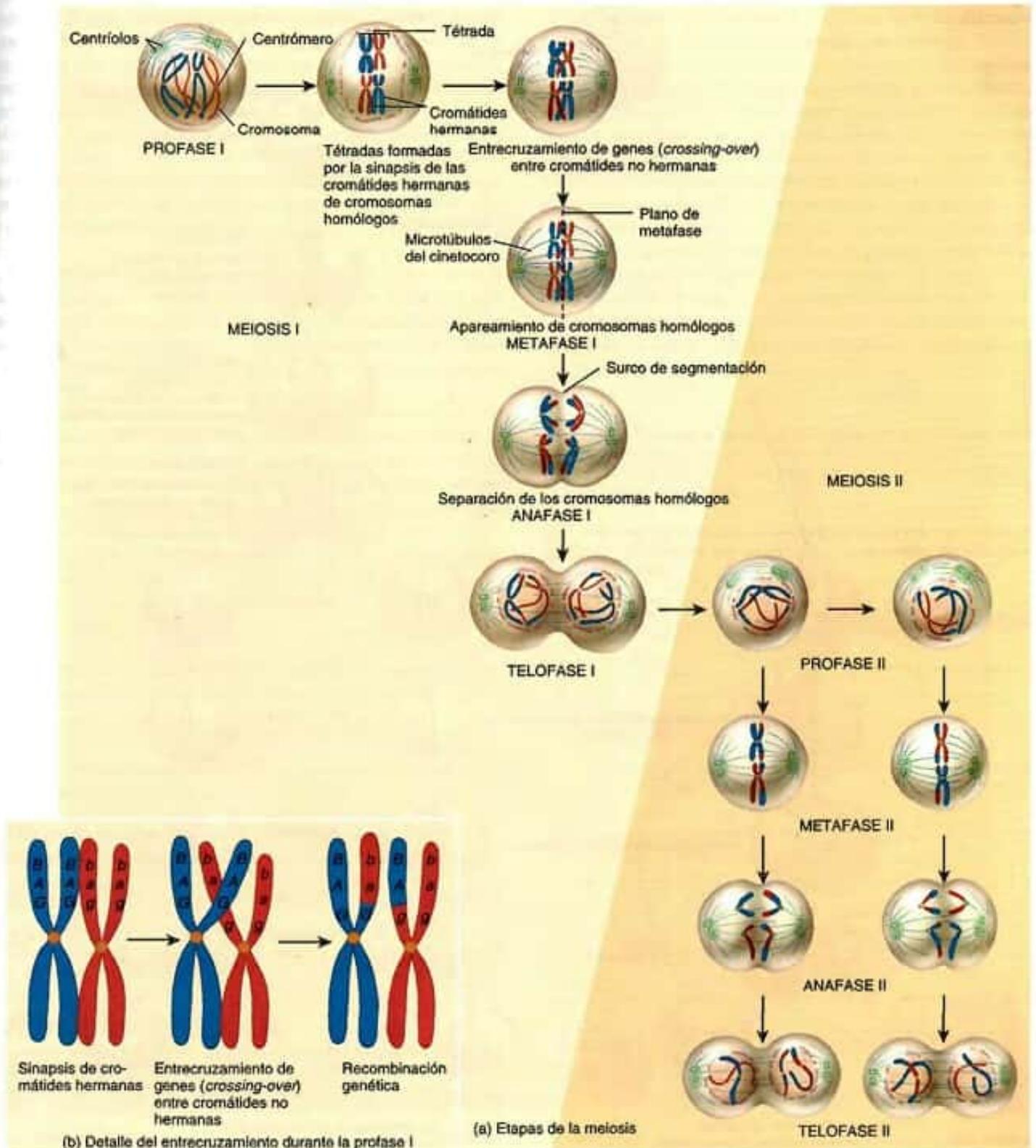
### Meiosis

A diferencia de la mitosis, que se completa después de un solo ciclo, la meiosis ocurre en dos etapas sucesivas: **meiosis I** y **meiosis II**. Durante la interfase que precede a la meiosis I, los cromosomas de la célula diploide inicial se duplican. Como consecuencia de la replicación, cada cromosoma consta de dos cromátidas hermanas (genéticamente idénticas), que están unidas en sus centrómeros. Esta replicación de los cromosomas es similar a la que precede a la mitosis en las células somáticas.

**MEIOSIS I** (primera división meiótica). La meiosis I, que comienza una vez concluida la replicación de los cromosomas, consta de cuatro fases: profase I, metafase I, anafase I y telofase I (fig. 3-31a). La profase I es una fase extensa en la cual los cromosomas se acortan y engrosan, la envoltura nuclear y el nucleolo desaparecen y se forma el huso mitótico. Dos hechos que no ocurren en la profase mitótica tienen lugar durante la profase I de la meiosis. Primero, las dos cromátidas hermanas de cada par de cromosomas homólogos se aparean, proceso denominado **sinapsis** (fig. 3-31b). La estructura resultante formada por cuatro cromátidas se llama **tétrada**. Segundo, se produce el intercambio de distintos sectores de las cadenas que forman las cromátidas de los cromosomas homólogos. Ese intercambio entre segmentos de cromátidas no hermanas (genéticamente diferentes) se conoce como **entrecruzamiento** (*crossing-over*) (fig. 3-31b). Este proceso, entre otros, permite el intercambio de genes entre cromátidas de cromosomas homólogos. Como consecuencia del entrecruzamiento, las células resultantes son genéticamente distintas una de otra y genéticamente diferentes a la célula que les dio origen. El entrecruzamiento trae aparejada la **recombinación genética** —o sea, la formación de nuevas combinaciones de genes— y es responsable en parte de la gran variabilidad genética entre los seres humanos y otros organismos que también producen gametos por medio de la meiosis.

**Fig. 3-31** Meiosis, división celular reproductiva. Los detalles del proceso se explican en el texto.

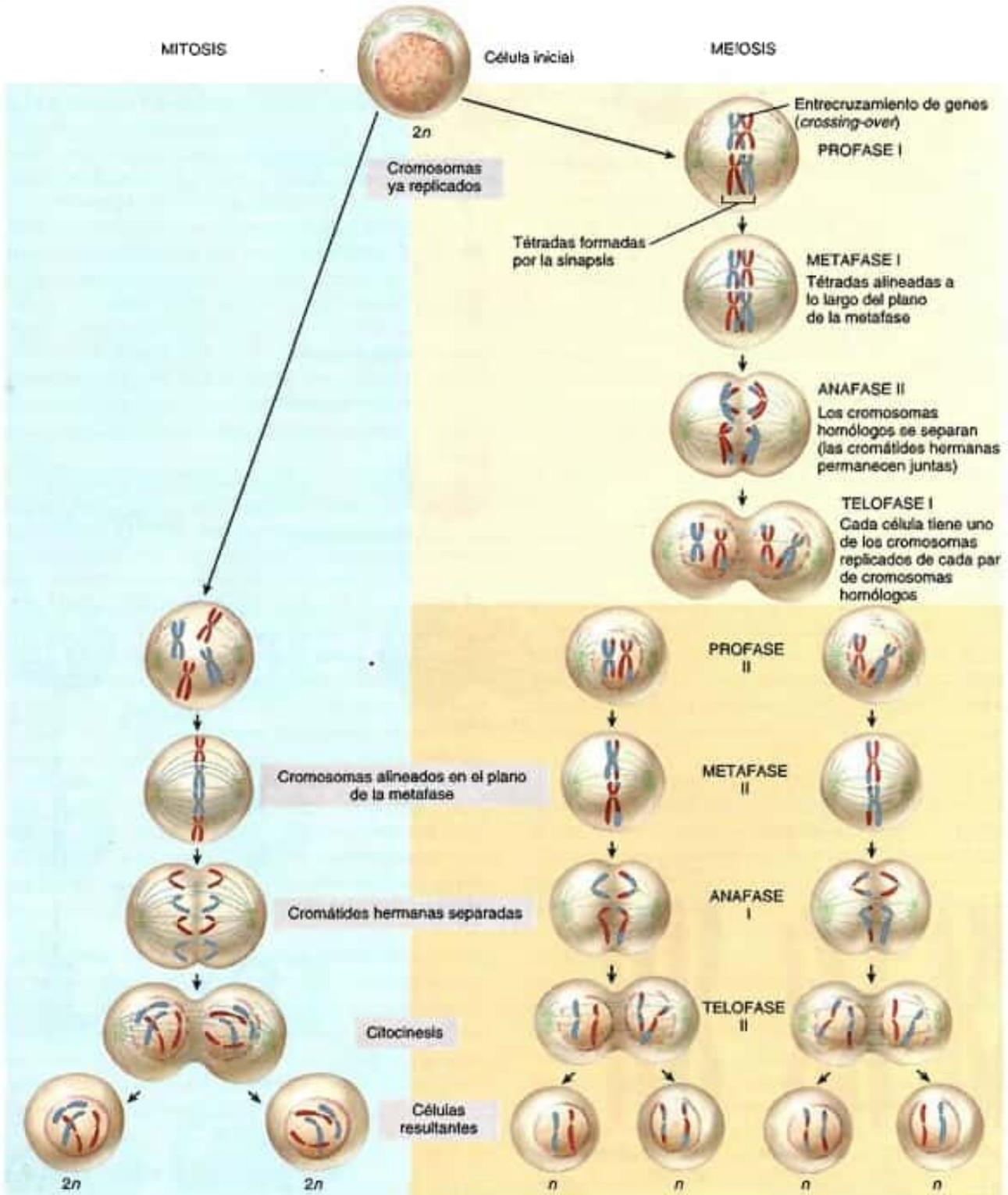
En la división celular reproductiva, una única célula diploide inicial experimenta la meiosis I y la meiosis II para producir cuatro gametos haploides que son genéticamente diferentes de la célula que les dio origen.



¿Cómo afecta el entrecruzamiento de genes (*crossing-over*) al contenido genético de los gametos haploides?

**Fig. 3-32** Comparación entre la mitosis (izquierda) y la meiosis (derecha) en las cuales la célula inicial tiene dos pares de cromosomas homólogos.

Las fases de la meiosis II y de la mitosis son similares.



¿En qué difieren la anafase I de la meiosis de la anafase de la mitosis y de la anafase II de la meiosis?

En la metafase I, las tétradas que se formaron entre los pares homólogos de cromosomas se alinean a lo largo de la placa metafásica de la célula, con sus cromosomas homólogos lado a lado (fig. 3-31a). Durante la anafase I, los miembros de cada par de cromosomas homólogos se separan a medida que son traccionados hacia los polos opuestos de la célula por los microtúbulos que están unidos a los centrómeros. Las cromátidas apareadas, unidas por sus centrómeros, permanecen juntas (recuérdese que durante la anafase mitótica los centrómeros se dividen y las cromátidas hermanas se separan). La telofase I y la citocinesis de la meiosis son similares a la telofase y la citocinesis de la mitosis. El efecto de la meiosis I es que cada célula resultante contiene un número haploide de cromosomas, ya que lleva solo un miembro de cada par de los cromosomas homólogos que estaban presentes en la célula inicial.

**MEIOSIS II** (segunda división meiótica). La segunda etapa de la meiosis, la meiosis II, también presenta cuatro fases: profase II, metafase II, anafase II y telofase II (fig. 3-31d). Estas fases son similares a las que tienen lugar durante la mitosis; los centrómeros se apartan y las cromátidas hermanas se separan y se dirigen hacia los polos opuestos de la célula.

En resumen, la meiosis I comienza con una célula diploide inicial y termina con dos células, cada una con un número haploide de cromosomas. Durante la meiosis II, cada una de las dos células haploides formadas durante la meiosis I se divide; como resultado neta se forman cuatro gametos haploides que son genéticamente diferentes de la célula diploide que dio inicio a todo el proceso.

En la figura 3-32 se comparan los fenómenos que tienen lugar en la meiosis y en la mitosis.

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

- Establezca las distinciones entre los tipos de división celular somática y reproductiva. ¿Cuál es la importancia de cada uno?
- Defina la interfase. ¿Cuándo se replica el ADN?
- ¿Cuáles son los hechos más importantes de cada etapa de la fase mitótica del ciclo celular?
- ¿En qué se parecen y en qué se diferencian la apoptosis y la necrosis?
- ¿En qué se diferencian las células haploides de las diploides?
- ¿Qué son los cromosomas homólogos?

## DIVERSIDAD CELULAR

### ► OBJETIVO

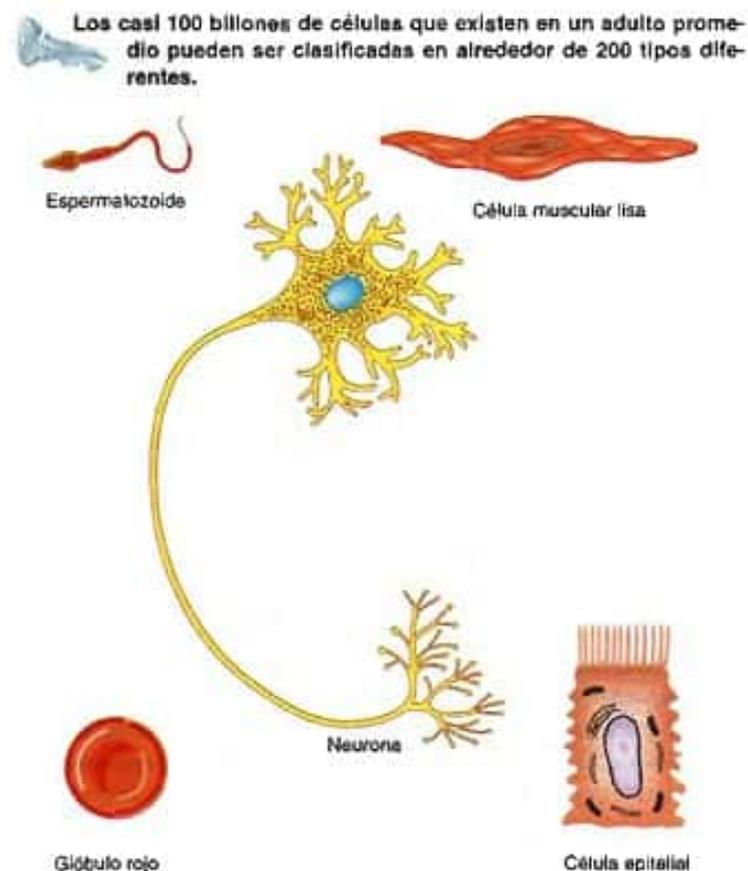
Describir cómo se diferencian las células en tamaño y forma.

El cuerpo de un ser humano adulto promedio está compuesto por casi 100 billones de células. Todas ellas pueden clasificarse en alrededor de 200 tipos celulares. Las células presentan considerables variaciones en tamaño. Es necesario utilizar microscopios de alta re-

solución para ver las células más pequeñas del cuerpo. La célula más grande, un óvulo, es casi perceptible para el ojo humano. Los tamaños de las células se miden en unidades denominadas *micrómetros*. Un micrómetro ( $\mu\text{m}$ ) es igual a la millonésima parte de un metro, o  $10^{-6}$  m. Mientras que una célula sanguínea tiene un diámetro de 8  $\mu\text{m}$ , un óvulo, tiene alrededor de 140  $\mu\text{m}$  de diámetro.

Las formas de las células también presentan variaciones considerables (fig. 3-33). Pueden ser esféricas, ovaladas, planas, cúbicas, prismáticas, alargadas, con forma de estrella, cilíndricas o discoidales. La forma de una célula se relaciona con la función que cumple. Por ejemplo, una célula espermática tiene una larga cola a manera de látigo (flagelo) que utiliza para la locomoción. La forma de disco de los glóbulos rojos les provee de una amplia superficie que aumenta su capacidad de ceder el oxígeno a otras células. La forma de huso alargado que toman las células musculares lisas les permite acortarse a medida que se contraen. Este cambio hace posible que los grupos de células musculares puedan disminuir o aumentar el diámetro de los vasos por los cuales circula la sangre. De esta manera regulan el flujo sanguíneo a través de los diferentes tejidos. Algunas células tienen microvellosi-

**Fig. 3-33** Formas y tamaños diversos de las células humanas. La diferencia relativa en tamaño entre la célula más pequeña y la célula más grande es, en realidad, mucho más importante que lo ilustrado en esta figura.



¿Por qué los espermatozoides son las únicas células del organismo que necesitan tener un flagelo?