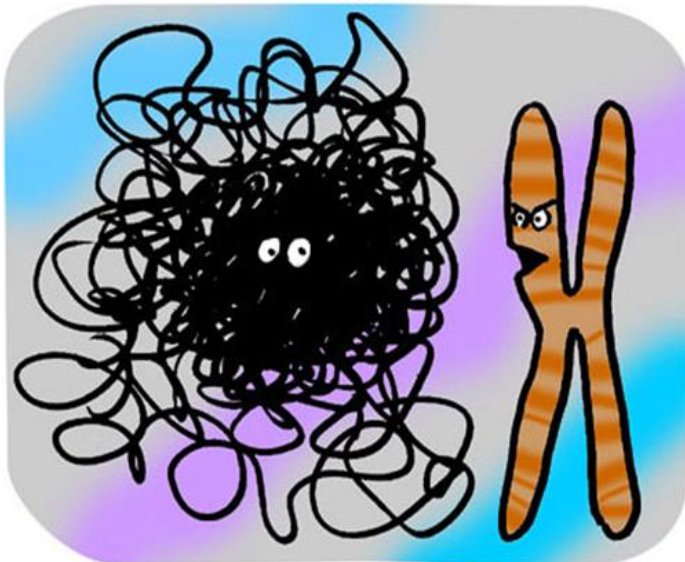




# **BLOQUE 2. BIOLOGÍA CELULAR**

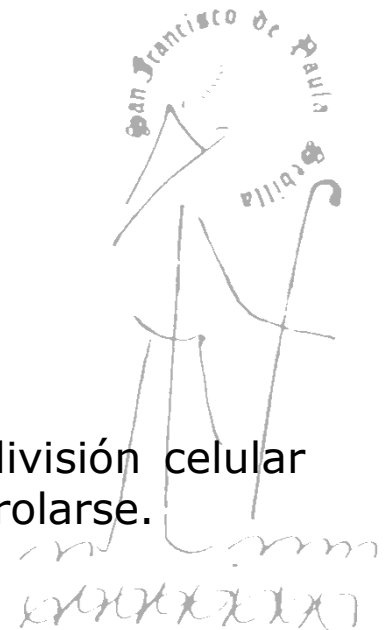
## **2.5 División celular**

Germán Tenorio  
Biología 12º



Dude, mitosis starts in five minutes...  
I can't believe you're not condensed yet.

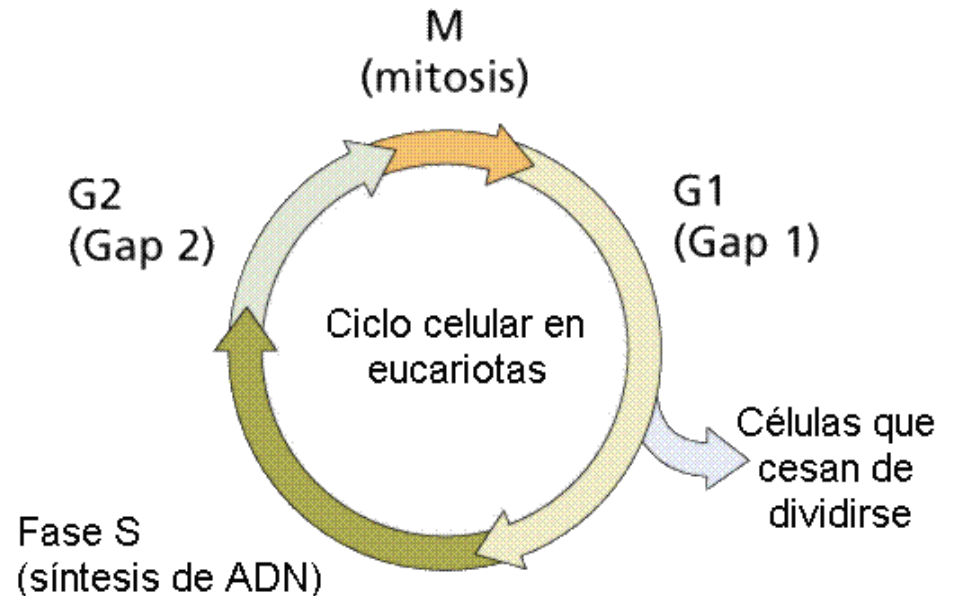
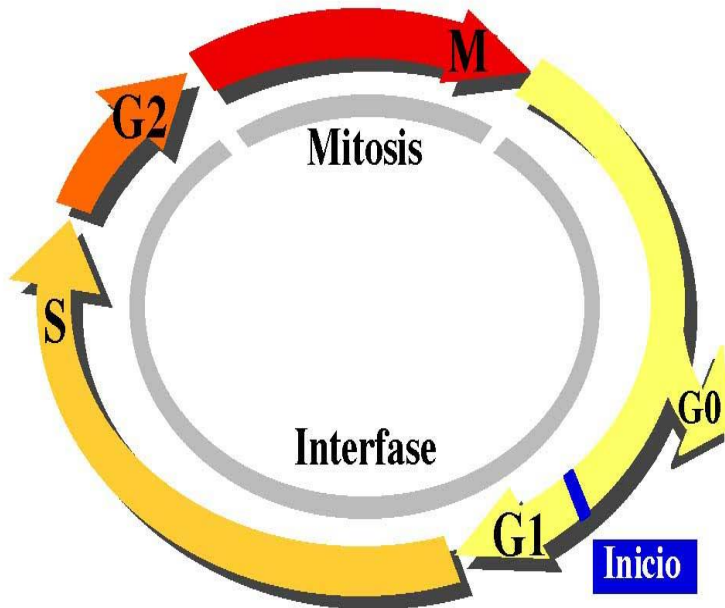
**Idea Fundamental:** La división celular es esencial pero debe controlarse.



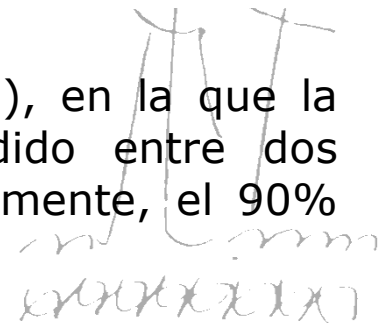


## El ciclo celular

- La vida de una célula desde que nace hasta que se divide o muere pasa por una serie de periodos que constituyen su ciclo vital o **ciclo celular**.



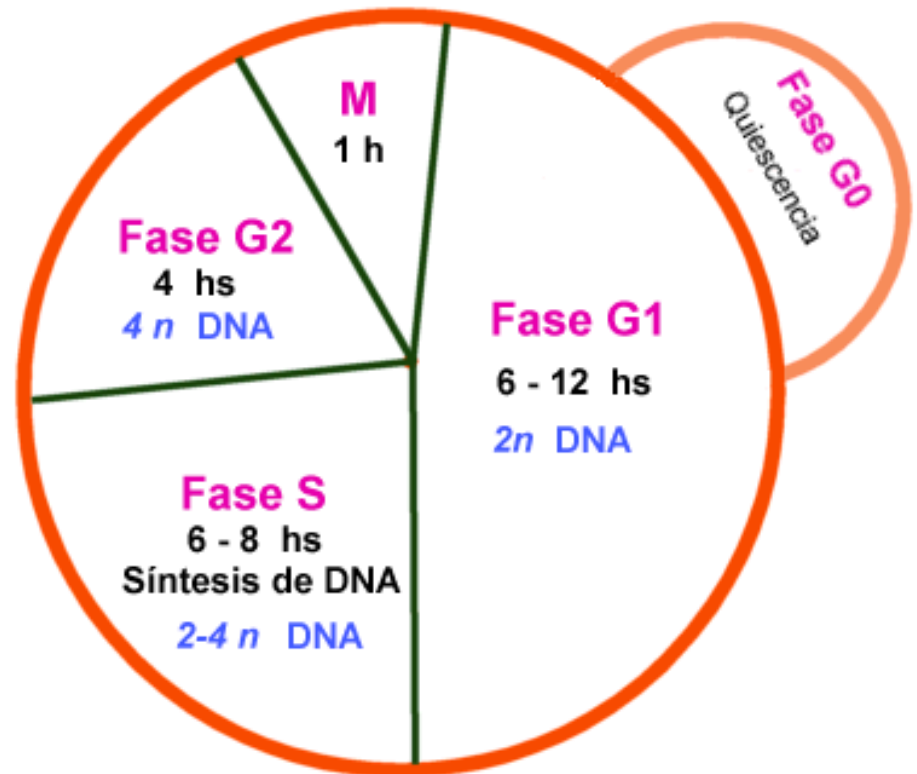
- El ciclo celular consta de dos fases; la mitosis (**fase M**), en la que la célula se divide, y la **interfase**, intervalo comprendido entre dos divisiones mitóticas sucesivas y que abarca aproximadamente, el 90% del ciclo celular.





## El ciclo celular\*

- **La interfase es una fase muy activa del ciclo celular, en la que tienen lugar muchos procesos en el núcleo y en el citoplasma**, como la síntesis de proteínas, la replicación de ADN y un aumento en el número de mitocondrias y de cloroplastos. Consta de **las fases G1, S y G2**.
- La duración media del ciclo celular completo es de unas 24 horas, si bien esta duración varía según el tipo celular (12h células epitelio intestinal o 1 año células hepáticas).
- La duración de cada fase disminuye a medida que transcurre el ciclo, siendo la fase de mayor duración la G1 y la de menor duración la M.



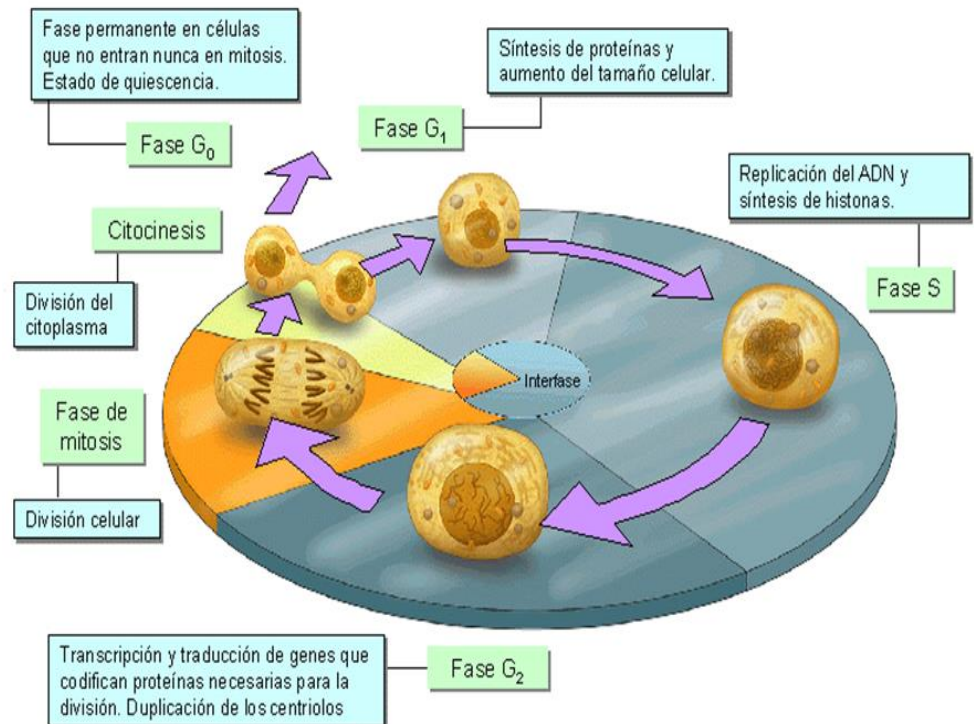


# El ciclo celular: Interfase

**Fase G<sub>1</sub>**. Comienza con el nacimiento de la célula, al finalizar la mitosis anterior. Se caracteriza por una intensa actividad biosintética y producción de ATP, al transcribirse y traducirse los genes necesarios para formar las proteínas necesarias para el crecimiento celular, posibilitando el aumento del tamaño celular y el número de orgánulos.

La mayoría de las células de un organismo pluricelular adulto no se dividen constantemente sino que detienen su ciclo celular en la fase G<sub>1</sub>, ya sea de forma temporal o permanentemente.

Detener el ciclo celular supone que la célula se va a **diferenciar**, a quedar **quiescente**, a sufrir un periodo de **senescencia** o a morir por **apoptosis**. Cuando la célula queda detenida en fase G<sub>1</sub> en **forma quiescente** se dice que está en **fase G<sub>0</sub>**.



XXXXXXXXXX

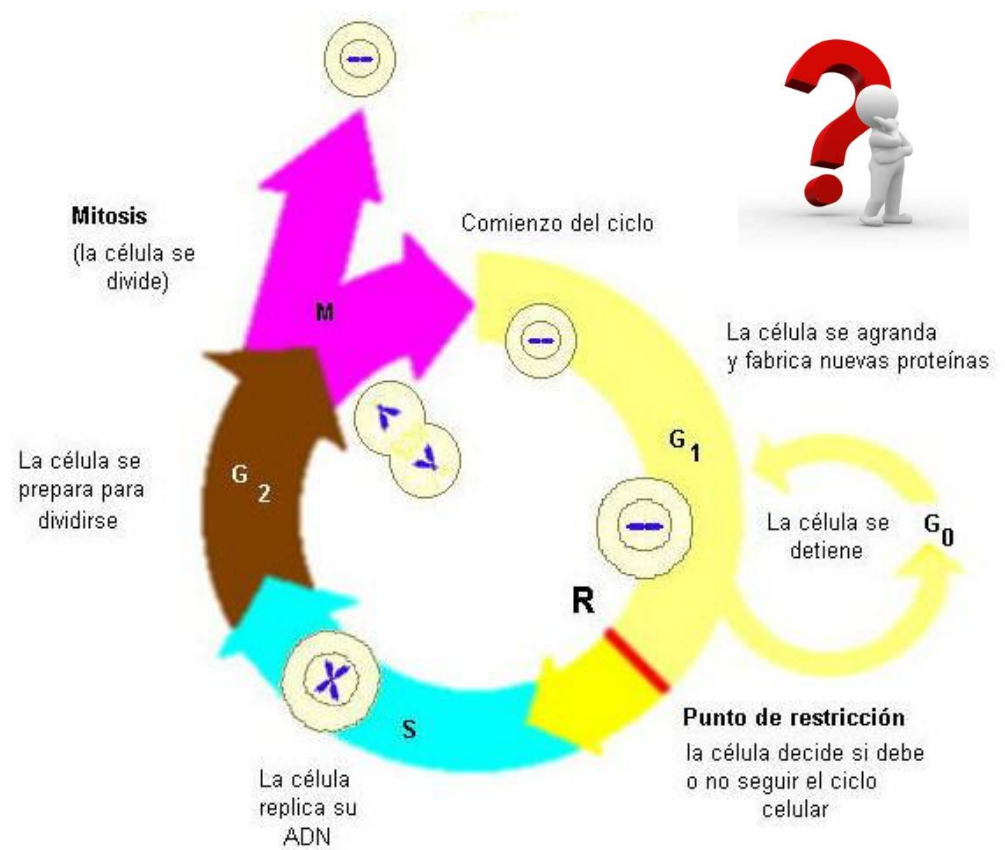


# El ciclo celular: Interfase\*

En un punto situado al final de esta fase G<sub>1</sub>, denominado **punto de Restricción R**, la célula evalúa su capacidad para completar el ciclo celular y producir dos células hijas, es decir, decide si debe o no seguir el ciclo celular.

Si la evaluación es negativa, la célula detiene su ciclo y entra en un estado de reposo o **fase G<sub>0</sub>**. Las células muy especializadas como las neuronas permanecen indefinidamente en esta fase, ya que han perdido la capacidad de dividirse.

Si la evaluación resulta positiva, la célula replica su ADN, que se encuentra en forma de cromatina.







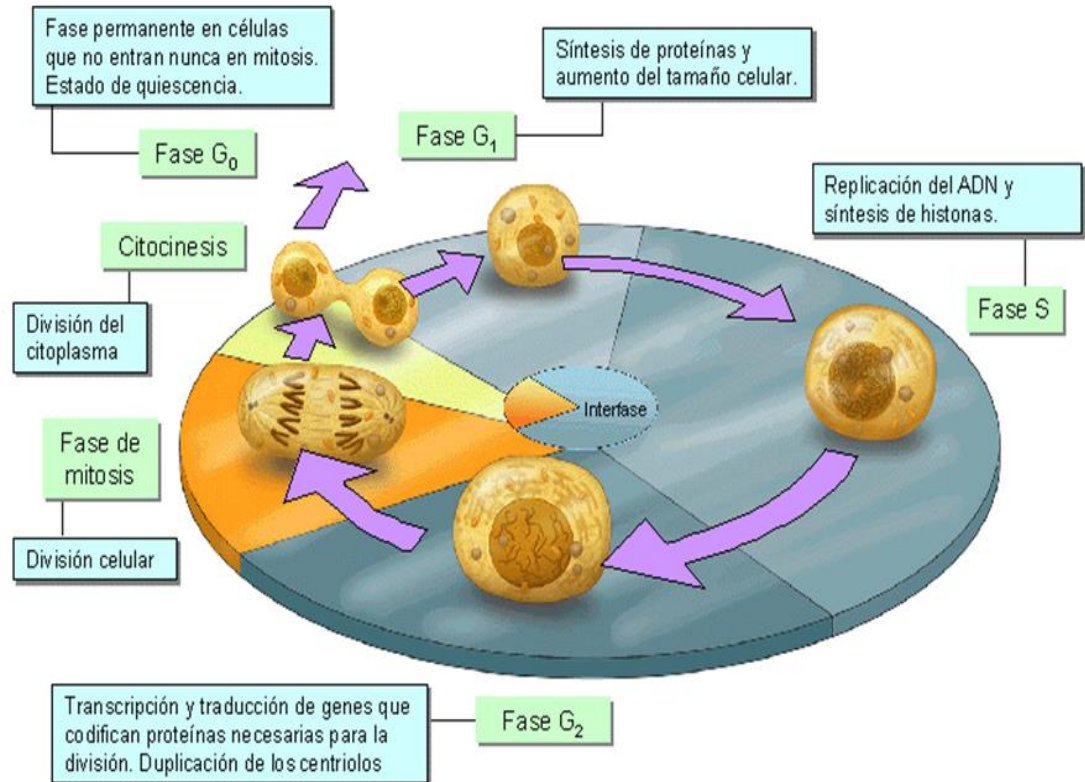
## El ciclo celular: Interfase

**Fase S.** Una vez que la célula ha duplicado su tamaño, se inicia la **síntesis de ADN** (de ahí su nombre de S) y proteínas asociadas, para que cada célula hija pueda contar con la misma información, e igual a la de la célula madre. También se duplican los dos centriolos del centrosoma.

Desde este momento hasta el final de la fase M, la célula es **tetraploide (4n)**, por tener dos copias de cada filamento de ADN.

El ADN sigue en forma de cromatina.

**Fase G<sub>2</sub>.** Aquí se dan los últimos preparativos para la división celular. Es la segunda fase de crecimiento, en la que se transcriben y se traducen ciertos genes para sintetizar proteínas necesarias para la división celular.

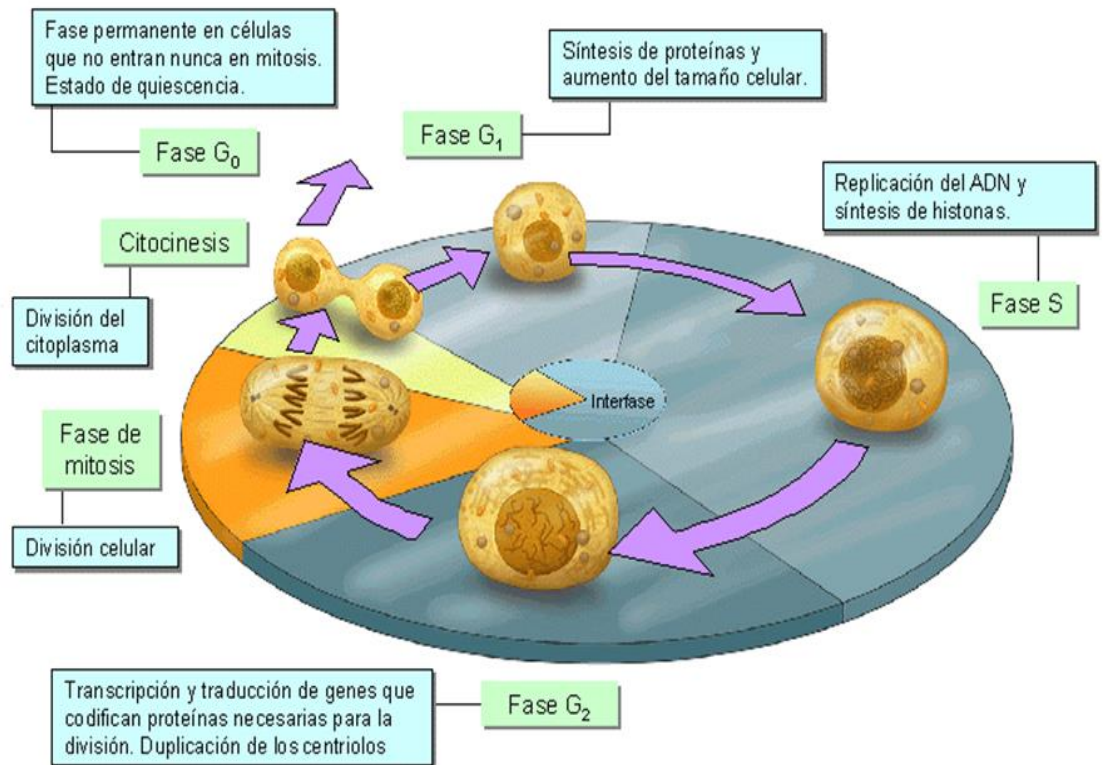
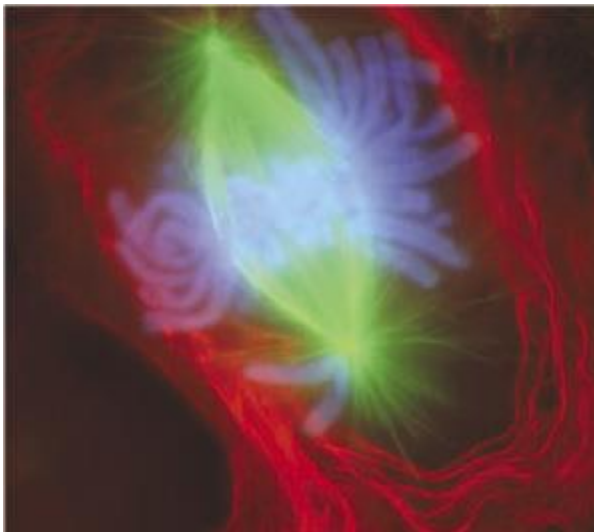


*XXXXXXXXXX*



# El ciclo celular: Mitosis

**Fase M.** Última etapa del ciclo celular, donde el ADN se empaqueta y forma los cromosomas. Se detienen todos los procesos de biosíntesis y el contenido del citoplasma se distribuye equitativamente entre las células hijas, produciéndose la división del núcleo y de la propia célula (**mitosis** y **citocinesis**, respectivamente).

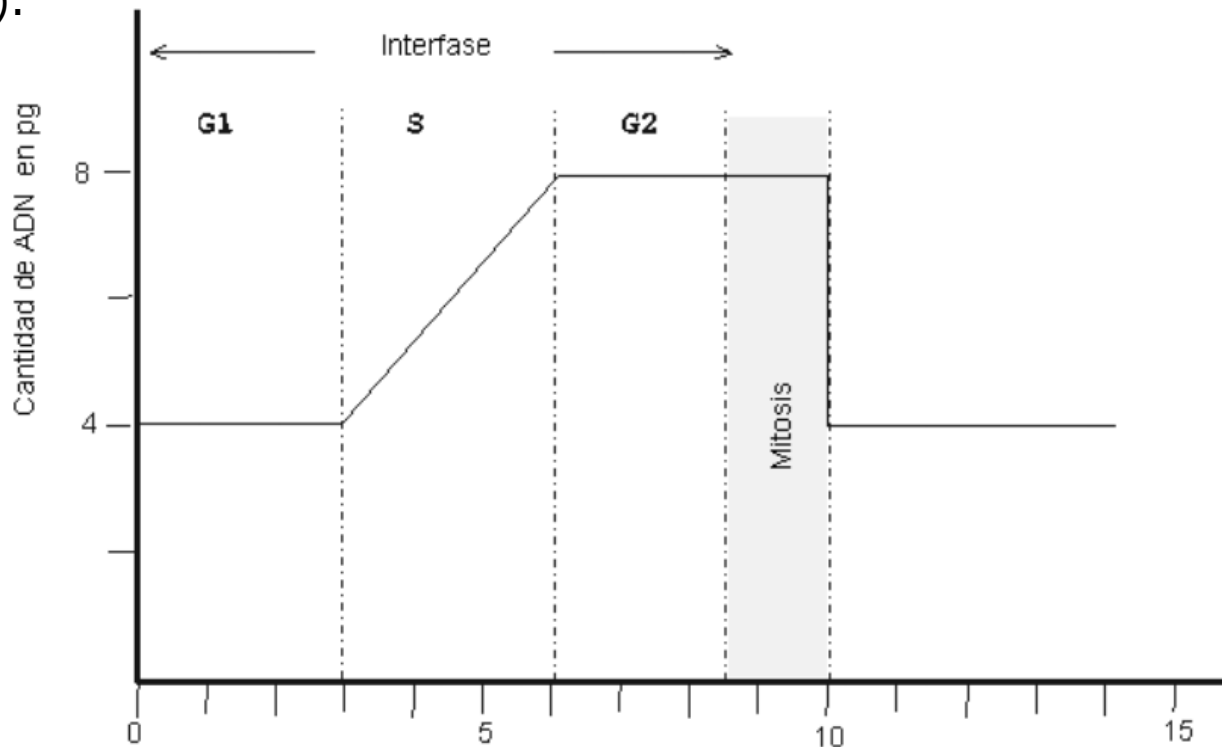


XXXXXXXXXX



## Variación del contenido de ADN

- Durante el periodo S de la interfase se duplica la cantidad de ADN de la célula, pasando de tener  $2n$  cromátidas a  $2n$  cromosomas, es decir, pasando de tener 2 moléculas de ADN a tener 4 moléculas de ADN.
- En la mitosis se produce un reparto de esas moléculas entre las células hijas, de tal modo que cada una recibe  $2n$  cromátidas (2 moléculas de ADN).

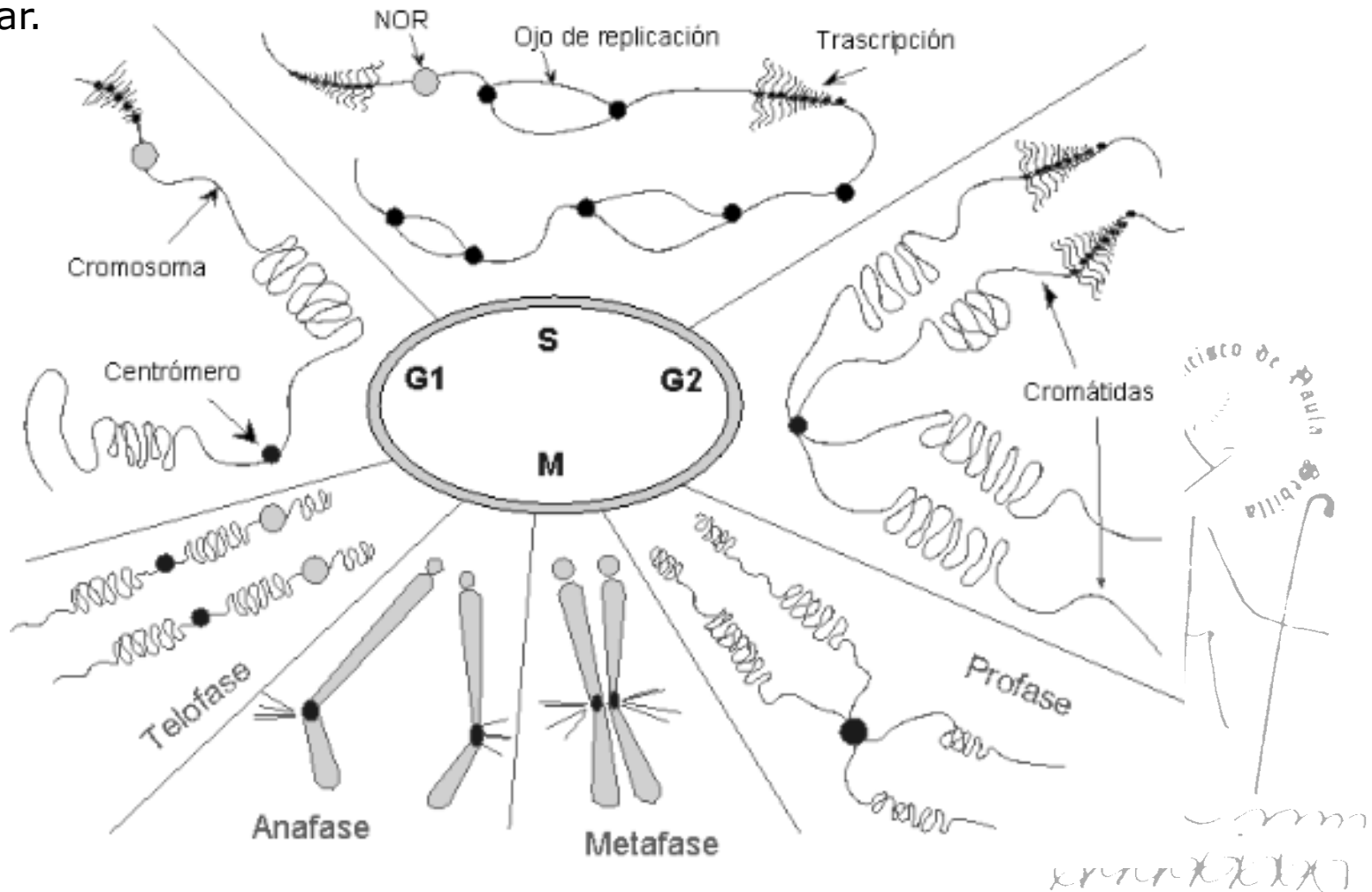






# Variación de la morfología del ADN

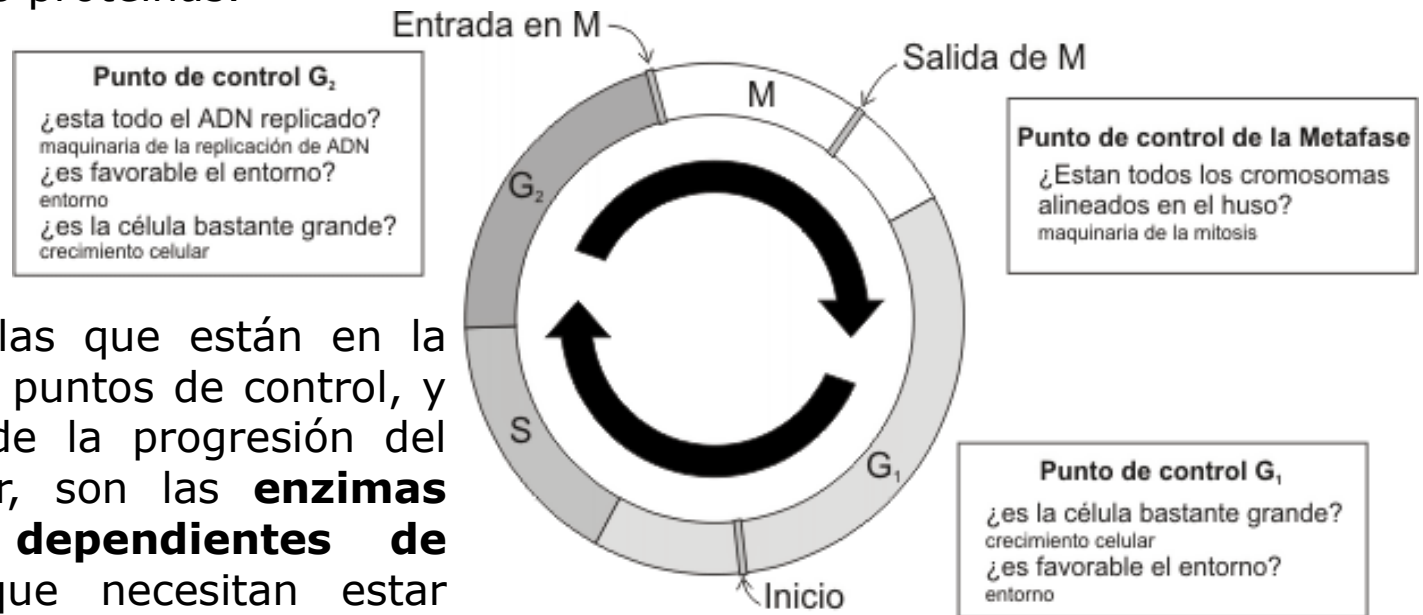
- Los cromosomas experimentan cambios morfológicos a lo largo del ciclo celular.





## Control del ciclo celular\*

- Ninguna célula sigue este ciclo indefinidamente. Pueden interrumpirlo cuando actúan ciertos factores, permaneciendo en fase G<sub>0</sub>, y ante ciertos estímulos volver a G<sub>1</sub>.
- En el ciclo **existen tres puntos** especialmente importantes **regulados** por diversas proteínas.



- Las moléculas que están en la base de los puntos de control, y por tanto de la progresión del ciclo celular, son las **enzimas quinasas dependientes de ciclinas**, que necesitan estar unidas a unas proteínas denominadas **ciclinas** y además ser activadas por fosforilación.

*Handwritten notes:*  
m l m m  
x x x x x x x x x x

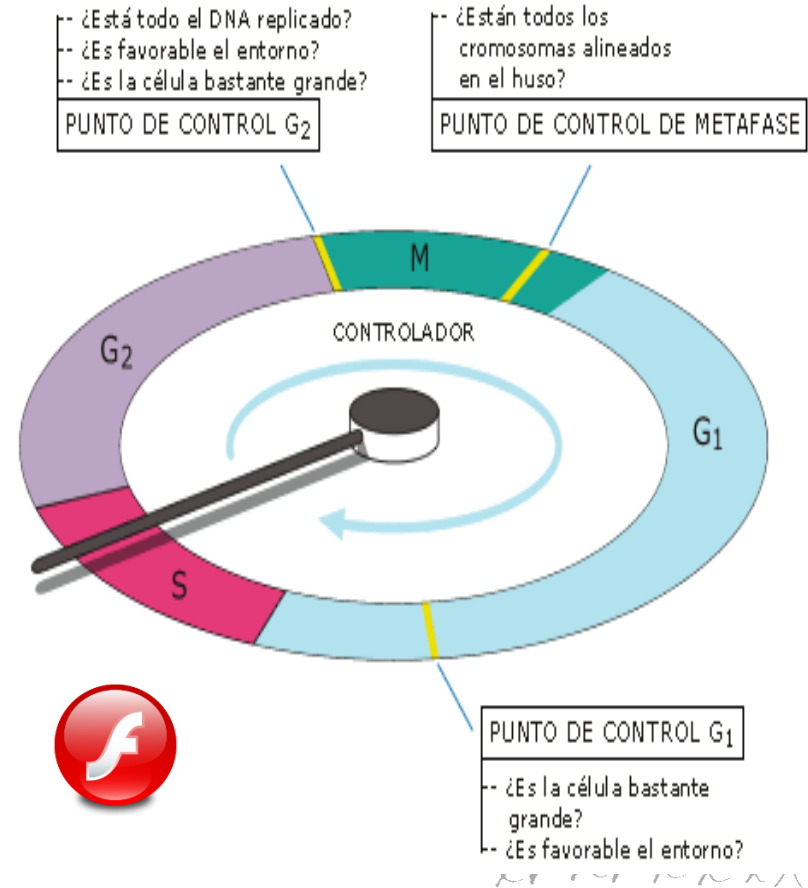


## Control del ciclo celular\*

- **Punto R de restricción (de control G1).** En este punto se pone en marcha el proceso que inicia la fase S. El sistema evaluará la integridad del ADN (que no esté dañado), la presencia de nutrientes en el entorno y el tamaño celular.

- **Punto de control G2.** En este punto se pone en marcha el proceso que inicia la fase M. En este punto, el sistema de control verificará que la duplicación del ADN se haya completado, si es favorable el entorno y si la célula es lo suficientemente grande para dividirse.

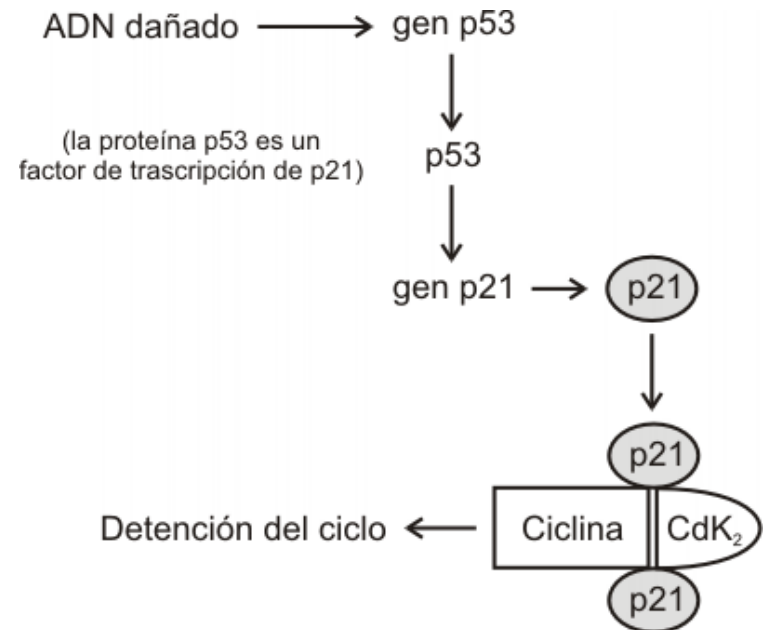
- **Punto de control de metafase.** En este punto se verifica si los cromosomas están alineados apropiadamente en el plano metafásico antes de entrar en anafase.





## Control del ciclo celular\*

- El gen p53 es uno de los **genes supresores de tumores** más conocidos, que no sólo **detiene el ciclo** (arresto celular), sino que también participa en la **apoptosis** (muerte celular programada) forzando a las células al suicidio cuando el daño en el ADN es irreparable. Controla por tanto, la **integridad del ADN**, la **terminación correcta** de cada una de las fases del ciclo
- Cuando el ADN presenta un daño "limitado", aumentan los niveles de proteína p53. Dicha proteína activa la transcripción del gen p21, que codifica a la proteína p21. Esta última proteína ejerce su efecto inhibitorio uniéndose al complejo ciclina-Cdk2 y deteniendo el ciclo.
- Las células que presentan los dos alelos del **gen p53 mutados**, no producirá **proteína p53 activa** y por tanto, continuarán dividiéndose a pesar del daño en su genoma, por lo tanto desarrollarán **cáncer**.



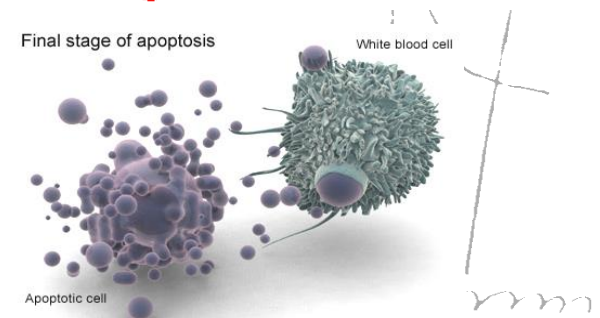
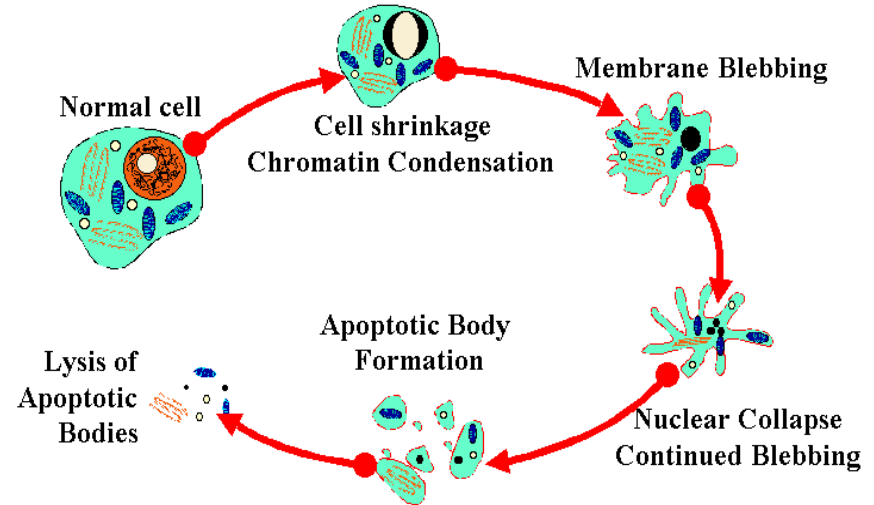
*Handwritten notes:*  
m l m m  
x x x x x x x x



# Control del ciclo celular

- Tras un número limitado de divisiones las células se suicidan para mantener el número de células dentro de unos límites.
- Este **suicidio celular programado** se denomina **apoptosis**, y en él las células se arrugan al deshidratarse y se desprenden de las vecinas, surgen burbujas en su superficie y el núcleo y la célula estallan, generando cuerpos apoptóticos que son ingeridos por macrófagos.
- Está controlada por unas proteínas llamadas **caspasas** (proteolíticas) que fragmentan las proteínas de manera específica en el citoplasma y en el núcleo.
- Sólo las células cancerosas escapan a este suicidio y se dividen de manera incontrolada, poniendo en peligro la vida del organismo.

## Apoptosis (Programmed Cell Death)

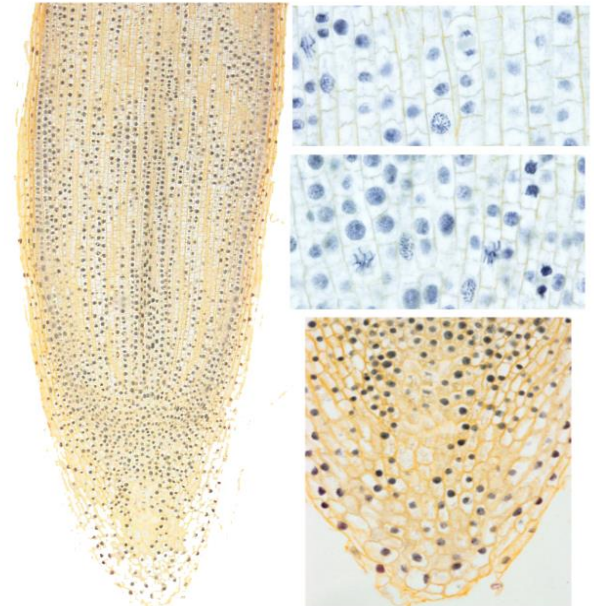
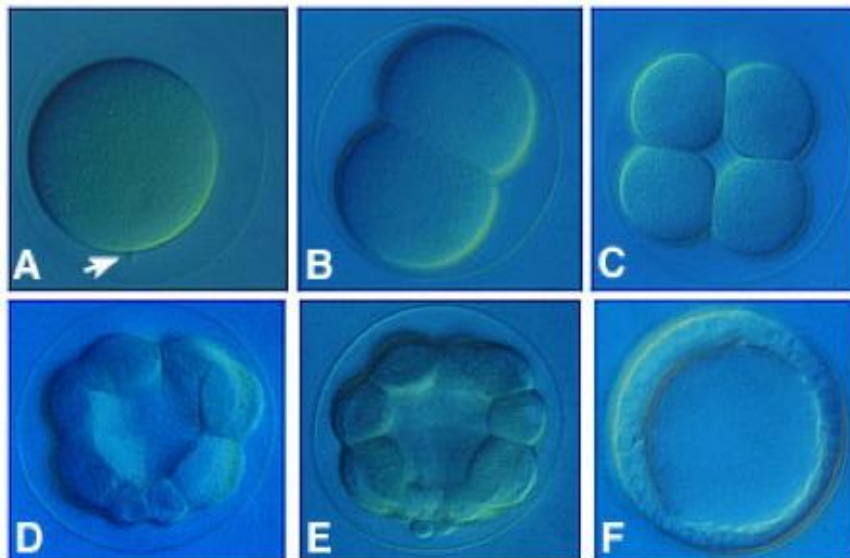






## División celular: Significado biológico de la Mitosis

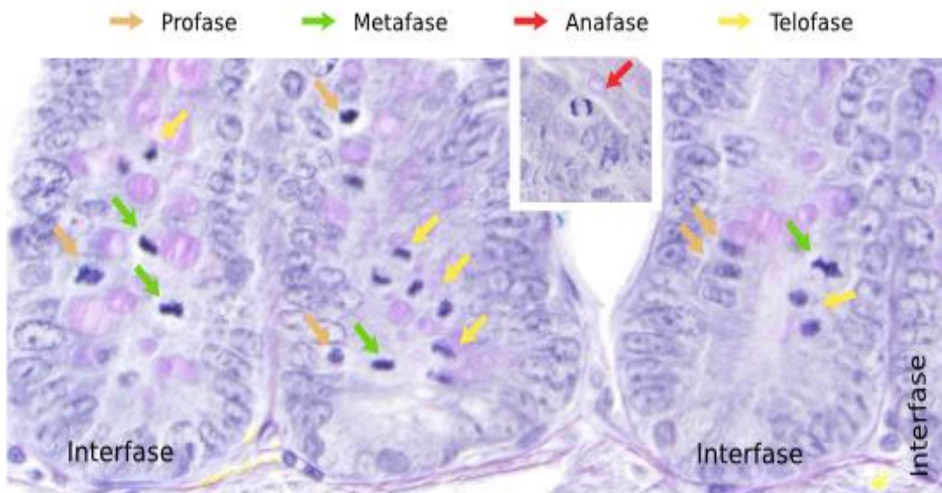
- Las células grandes poseen una reducida relación SA/VOL y son menos eficientes que las células de menor tamaño. Si un organismo intenta aumentar de tamaño, no agranda el tamaño de sus células, sino el número de las mismas.
- A partir de tan sólo una célula, el **cigoto**, y por reiterada división mitótica, se originan todas las células que componen a un ser vivo pluricelular. La **mitosis** ocurre fundamentalmente durante el **desarrollo embrionario**. La división celular permite el **crecimiento de los organismos pluricelulares**.



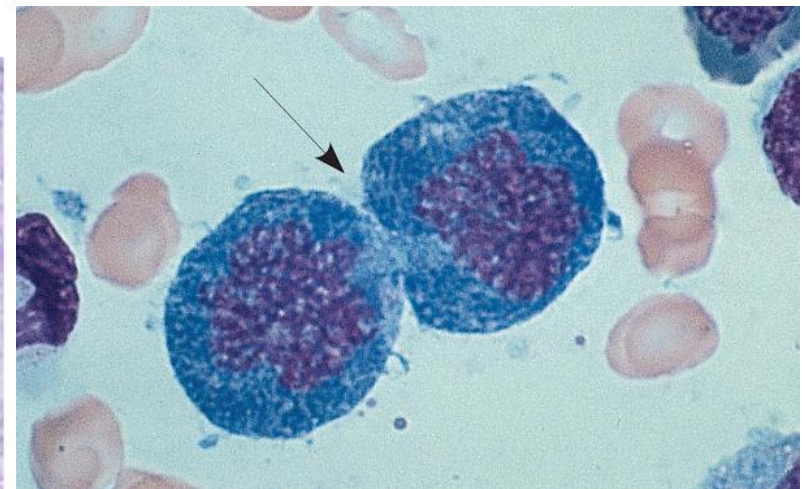


## División celular: Significado biológico de la Mitosis

- La división no se detiene al llegar al **estado adulto**, sino que las células de la mayoría de los tejidos siguen dividiéndose, para la **reparación y renovación de tejidos en organismos pluricelulares**, al **sustituir las células viejas, muertas, dañadas o infectadas**.



**Epitelio intestinal de rata**



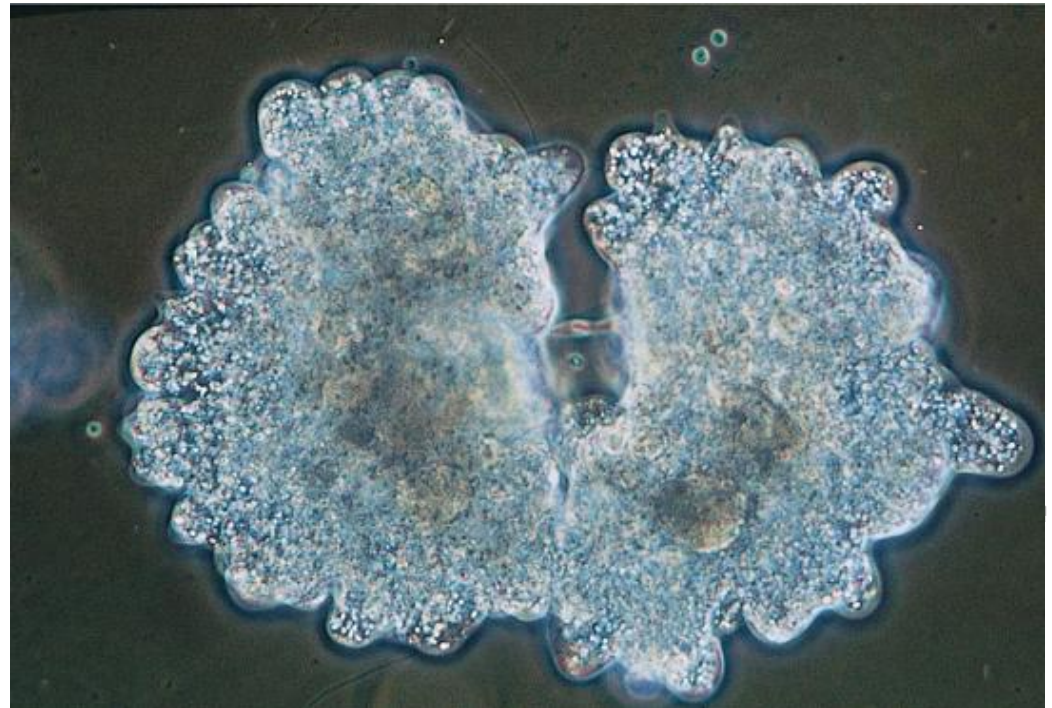
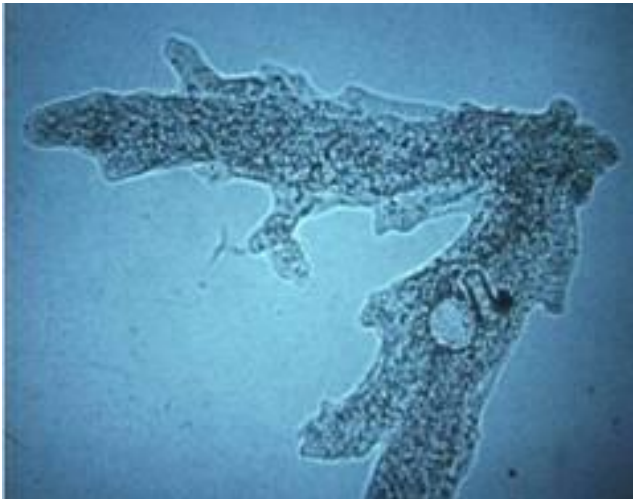
**Linfocitos**





## División celular: Significado biológico de la Mitosis

- Además, la división celular (a través de la mitosis) constituye la forma de **reproducción en organismos unicelulares eucariotas**.

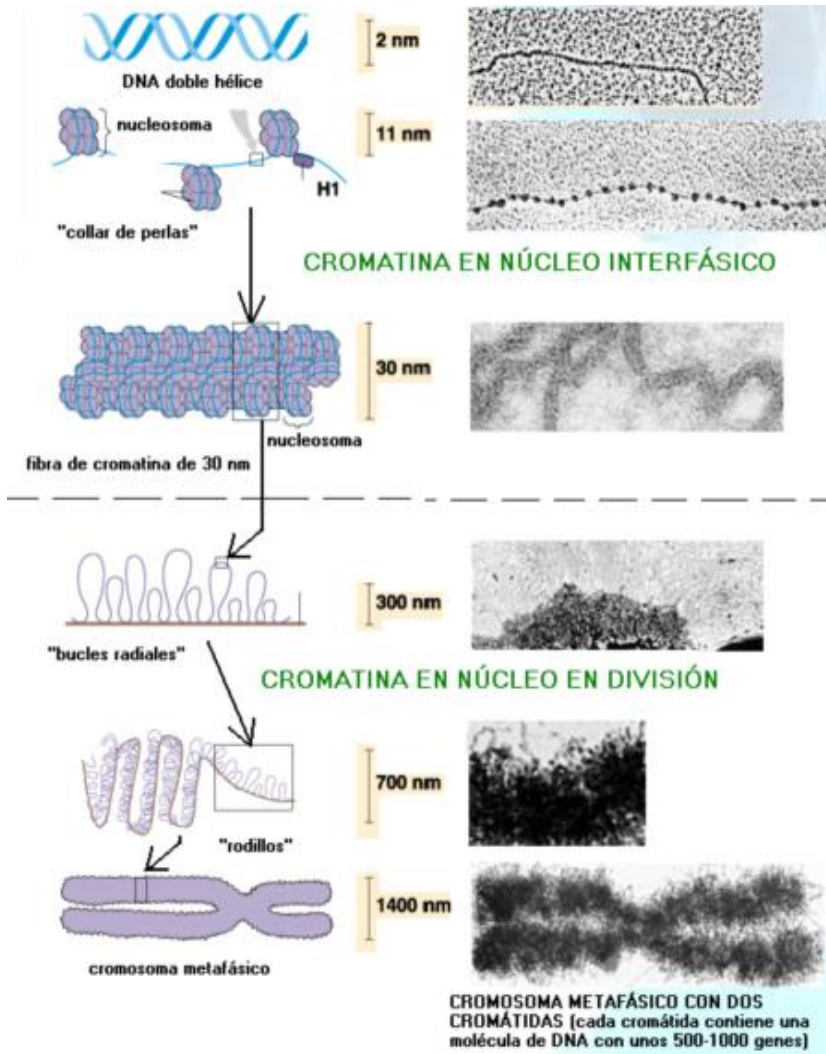


Handwritten text in the bottom right corner, possibly a signature or a note, consisting of several lines of cursive script.





# Mitosis

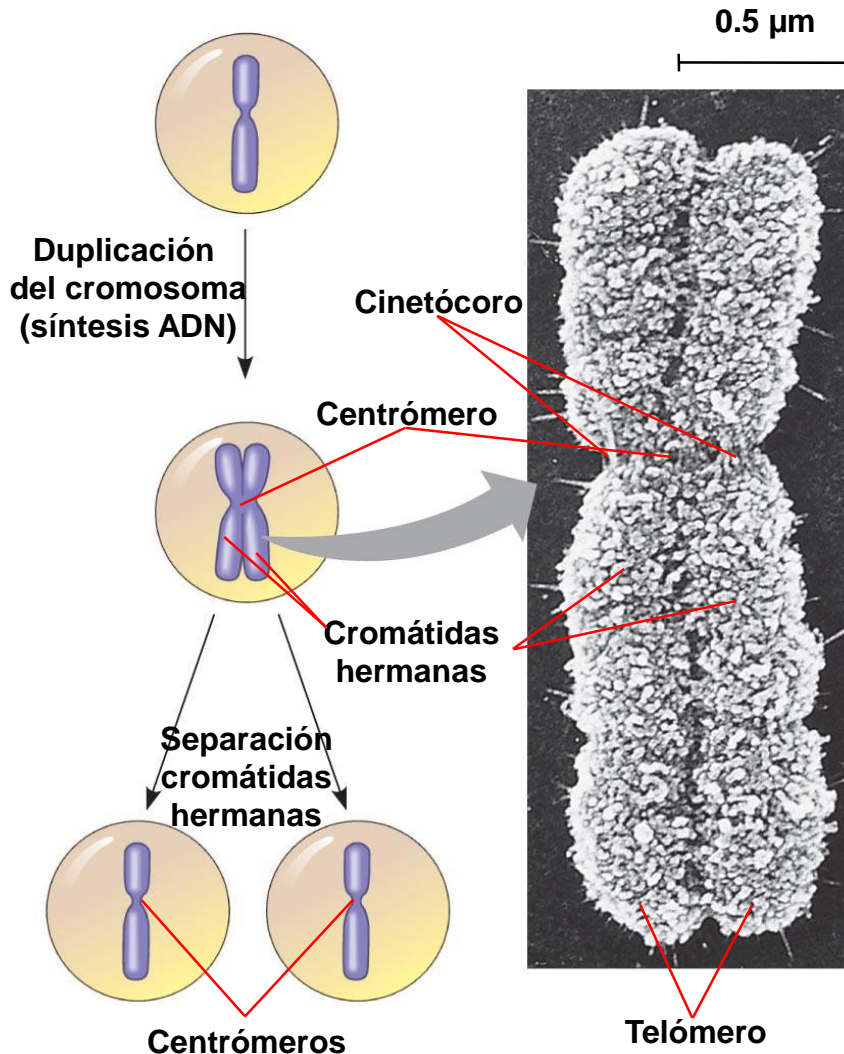


- La división celular comienza con la **mitosis**, mediante la cuál **se divide el núcleo**, separándose los cromosomas previamente duplicados en la fase S y se continúa con la **citocinesis** o **división del citoplasma**.
- El **ADN funcional y activo** es la **fibra de 30 nm** en forma de **eucromatina**.
- En este estado de descondensación el reparto del ADN sería defícil de conseguir, por lo que hay que empaquetar el ADN y formar el **cromosoma mitótico**, cuyo máximo grado de empaquetamiento se consigue durante la metafase (**cromosoma metafásico**).
- **Los cromosomas se compactan por superenrollamiento durante la mitosis.**

*m. camm*  
*XXXXXX*



## Estructura cromosoma metafásico



- Cada cromosoma metafásico está formado por dos partes simétricas y genéticamente idénticas llamadas **cromátidas (hermanas)**, unidas por una zona delgada, el **centrómero** o **constricción primaria**.
- Todo cromosoma consta de dos **brazos largos (q)** y dos **brazos cortos (p)** separados por un centrómero.
- A ambos lados del centrómero aparece una estructura proteica denominada **cinetócoro**, que interviene en la segregación controlada de los cromosomas durante la anafase de la mitosis y meiosis.

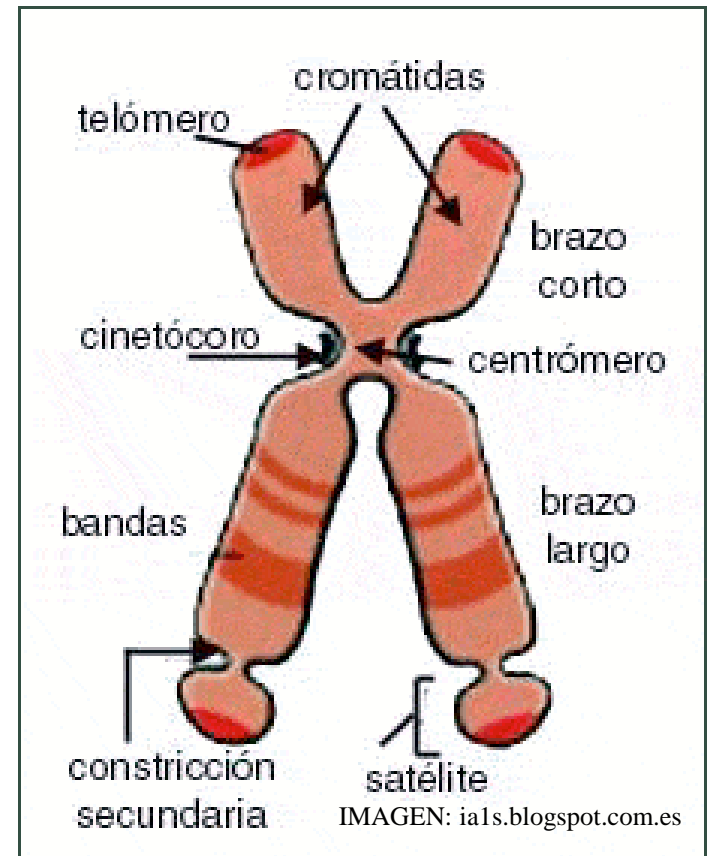
XXXXXXXXXX





## Estructura cromosoma metafásico

- Cada una de las regiones de ADN terminales de las cromátidas (extremos del cromosoma) se denomina **telómero**, y presenta una secuencia de ADN necesaria para la estabilidad del cromosoma, al evitar la fusión de los extremos de cromosomas diferentes.
- En algunos cromosomas, entre el centrómero y los telómeros, aparecen las **constricciones secundarias (organizadores nucleolares)**, que son zonas que originan el nucleolo cuando el ADN se descondensa al terminar la mitosis. Si las constricciones 2ª se sitúan cerca de los telómeros, delimitan un corto segmento de ADN denominado **satélite**.
- Las **bandas** son segmentos de cromatina que presentan diferentes intensidades de coloración, y cuya distribución a lo largo de la cromátida es específica para cada tipo de cromosoma. Estas bandas en los cromosomas permiten su identificación cuando se ordenan en un **cariotipo**.



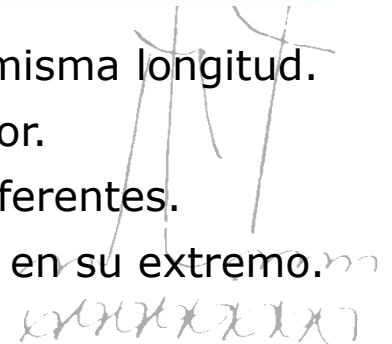


## Diferencias entre cromosomas

- Al comparar los cromosomas en mitosis, se observa que no son iguales, sino que difieren tanto en tamaño, como en la posición que ocupa el **centrómero**, parte del cromosoma que une a las cromátidas hermanas.
- La forma del cromosoma vienen determinada por la posición del centrómero, que lo divide en dos partes llamadas **brazos (p y q)**. Según la longitud de los brazos los cromosomas pueden ser:



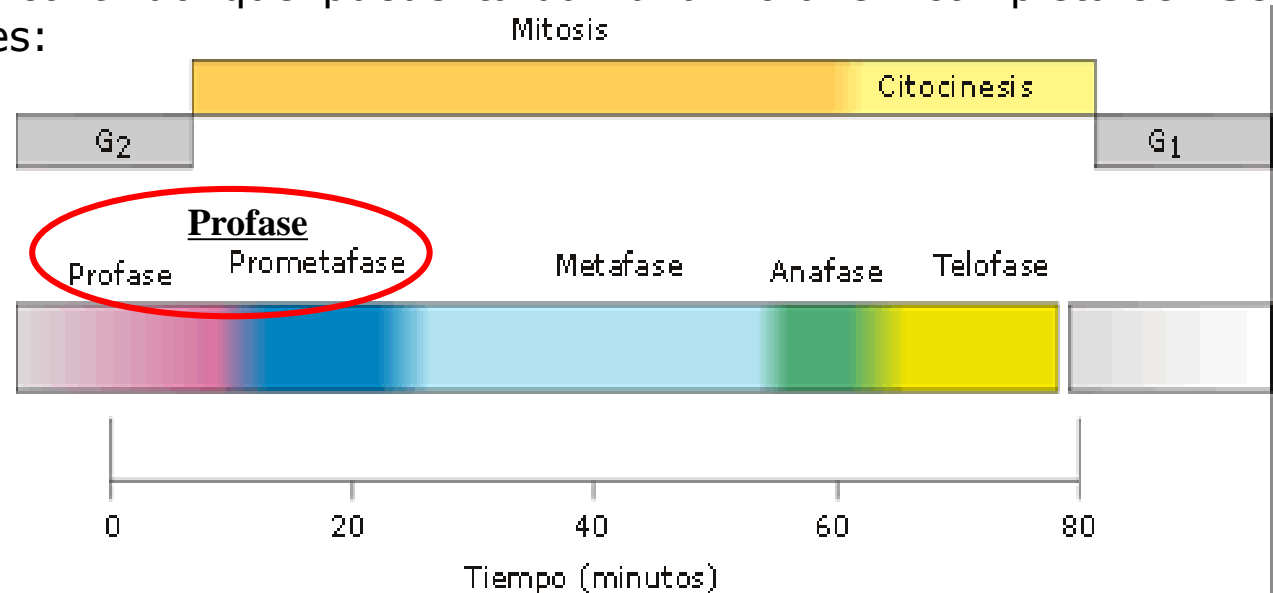
- **Metacéntricos**, si dos brazos tienen aproximadamente la misma longitud.
- **Submetacéntricos**, uno de los brazos es ligeramente mayor.
- **Acrocéntricos**, cuando los dos brazos son de longitudes diferentes.
- **Telocéntricos**, solo un brazo visible al estar el centrómero en su extremo.





# Mitosis

- Mediante la **mitosis** se reparte equitativamente el material genético entre dos células hijas, y junto con la **citocinesis**, que reparte el citoplasma y los orgánulos celulares, se asegura que la información se transmita sin variaciones de unas células a otras.
- **La mitosis es la división del núcleo en dos núcleos hijos, idénticos genéticamente**, es decir, la mitosis **no crea variabilidad** y las células hijas son iguales entre sí e iguales a la célula madre.
- Es un proceso continuo que puede tardar una hora en completarse. Se divide en 4 fases:

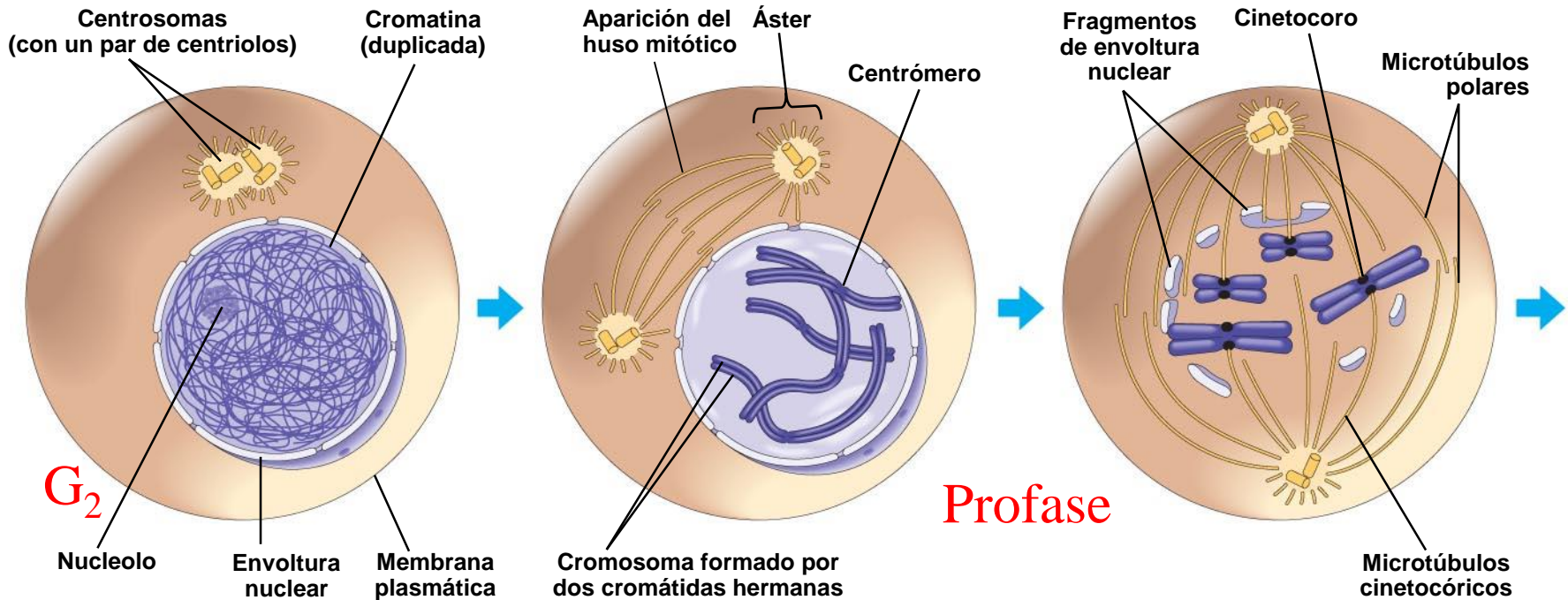


XXXXXXXXXX



# Mitosis: Profase

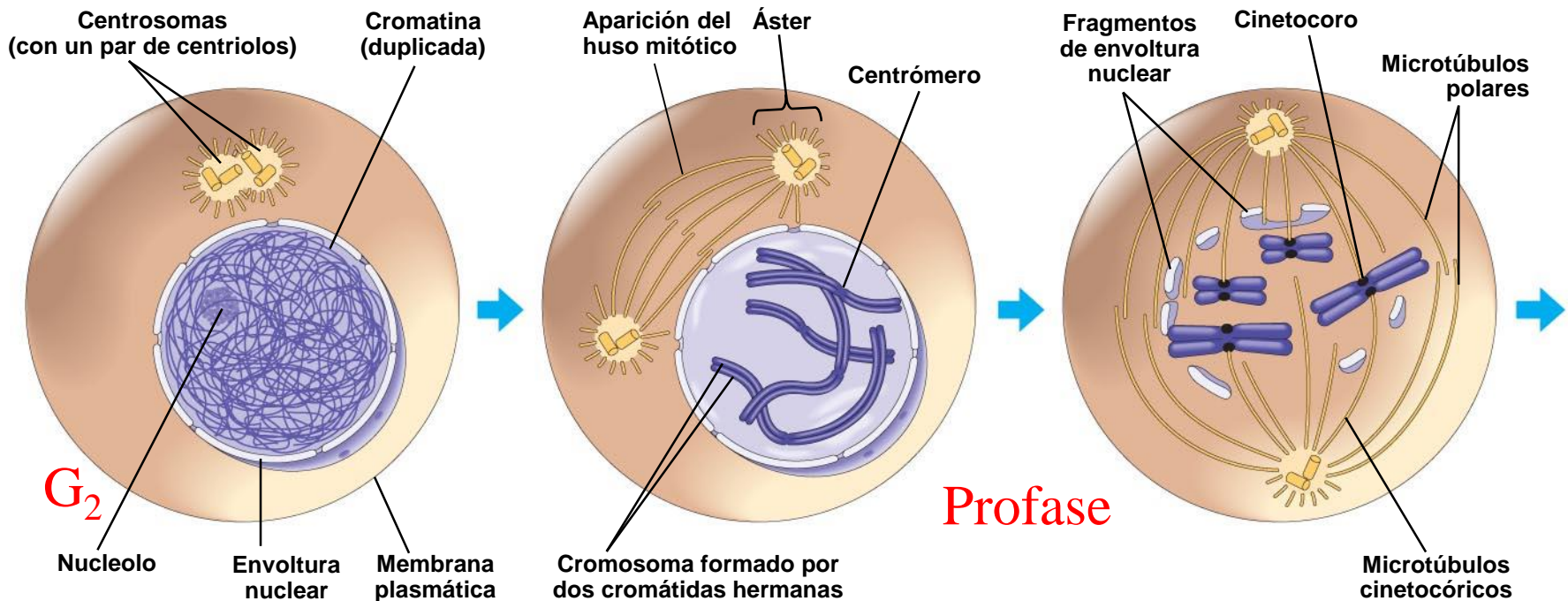
- Los filamentos de **cromatina**, que durante la interfase eran finísimos y completamente imperceptibles al microscopio óptico, se van poco a poco superenrollando y condensando hasta formar **cromosomas** bien definidos que se pueden ver con el microscopio óptico.
- Las dos moléculas de ADN formadas por la replicación del ADN se consideran cromátidas hermanas hasta la separación de centrómeros al comienzo de la anafase.





# Mitosis: Profase

- **El nucleolo va desapareciendo** y al mismo tiempo el centrosoma se divide, de manera que cada juego los centriolos (duplicados al final de la fase S), se van separando hacia cada uno de los polos de la célula.
- A medida que se separan los dos centrosomas se van formando entre ellos los microtúbulos que forman el **huso mitótico o acromático**.

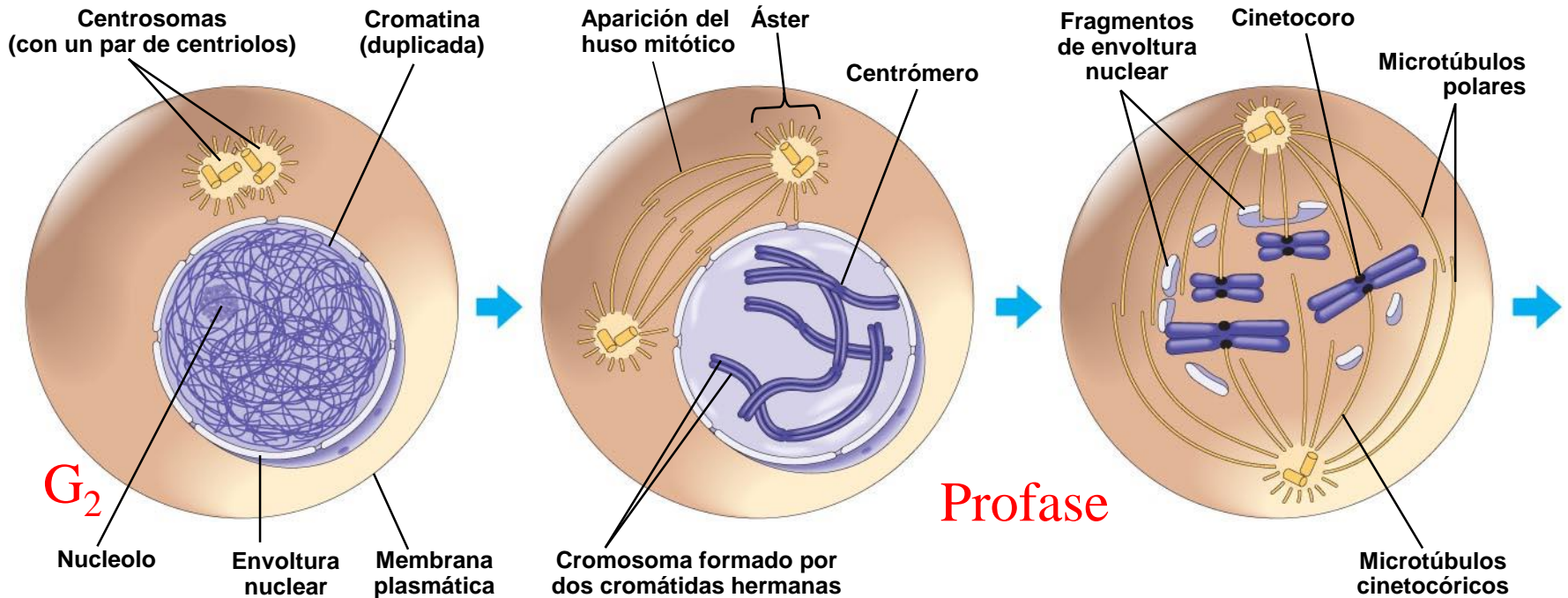






# Mitosis: Profase

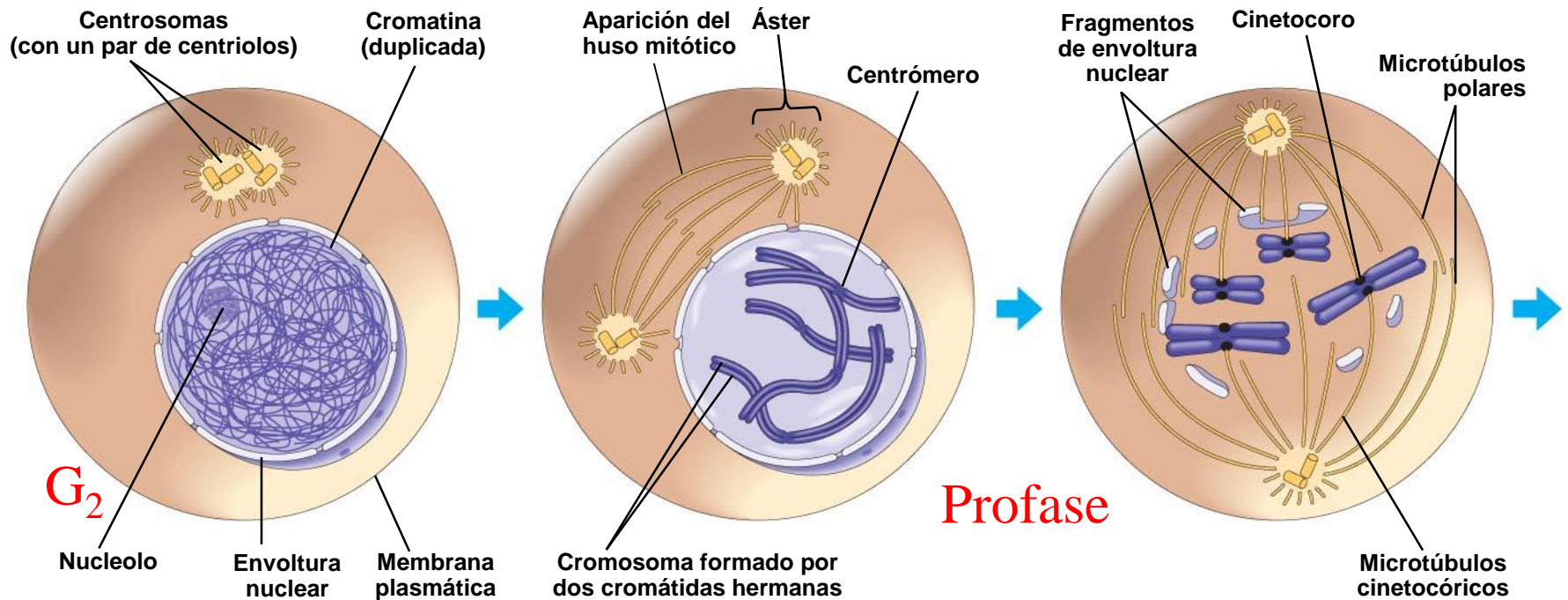
- El conjunto de los dos centriolos y los microtúbulos que lo rodean se denomina **áster**, y por tanto, **astral** la mitosis que los posee, como la de células animales.
- En células vegetales no hay centriolos ni áster (**mitosis anastral**) aunque si forma el huso mitótico.





# Mitosis: Profase

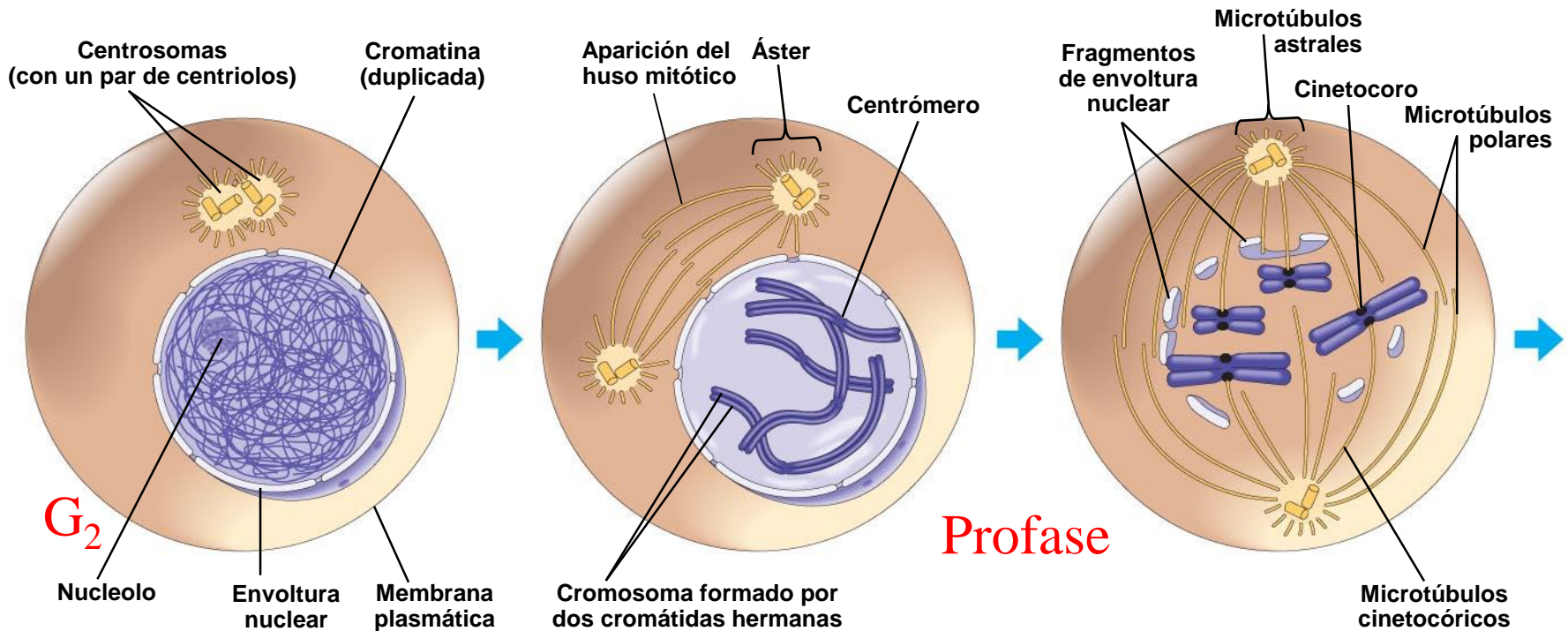
- Ahora comienza la desaparición de la envoltura nuclear, que se desintegra en pequeñas vesículas.
- En los centrómeros de cada cromosoma se forman unos complejos proteicos llamados **cinetócoros**, que sirven de punto de anclaje para los filamentos del huso (**microtúbulos cinetocóricos**).





# Mitosis: Profase

- Se distinguen por tanto **tres tipos de microtúbulos**: los **polares**, que conectan a ambos centrosomas pero no tocan a los cromosomas, los **cinetocóricos**, que parten del cinetocoro del cromosoma, y los **astrales**, que rodean a los dos centriolos.

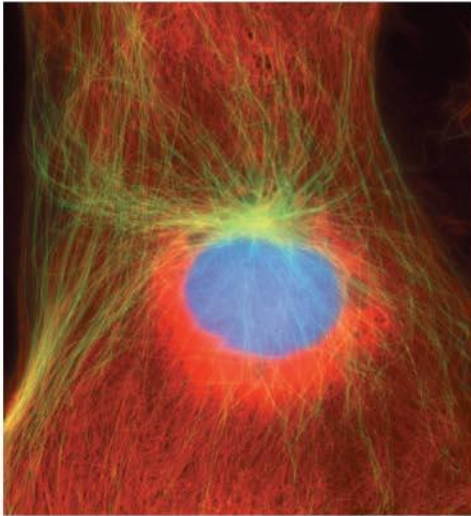


**Profase**

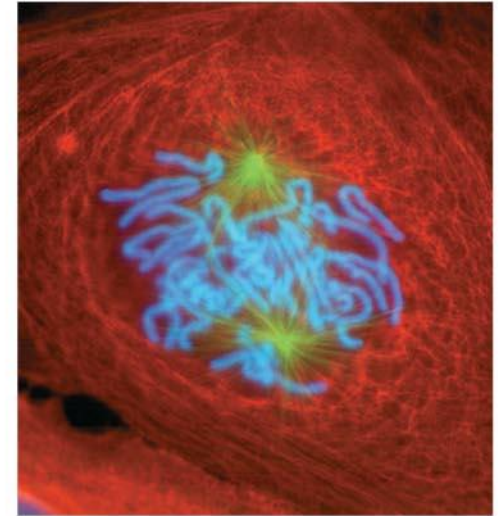
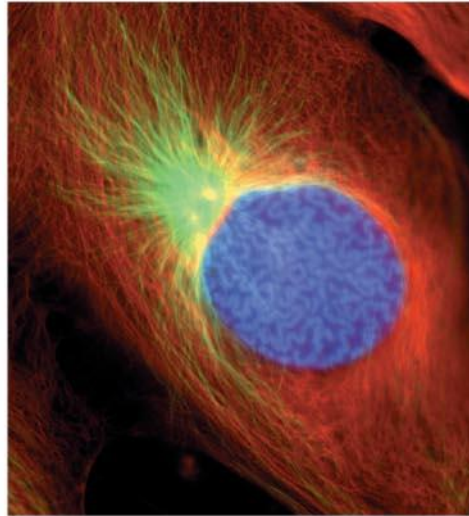




# HABILIDAD: Identificación al microscopio de las fases mitosis



**G<sub>2</sub> - INTERFASE**



**PROFASE**

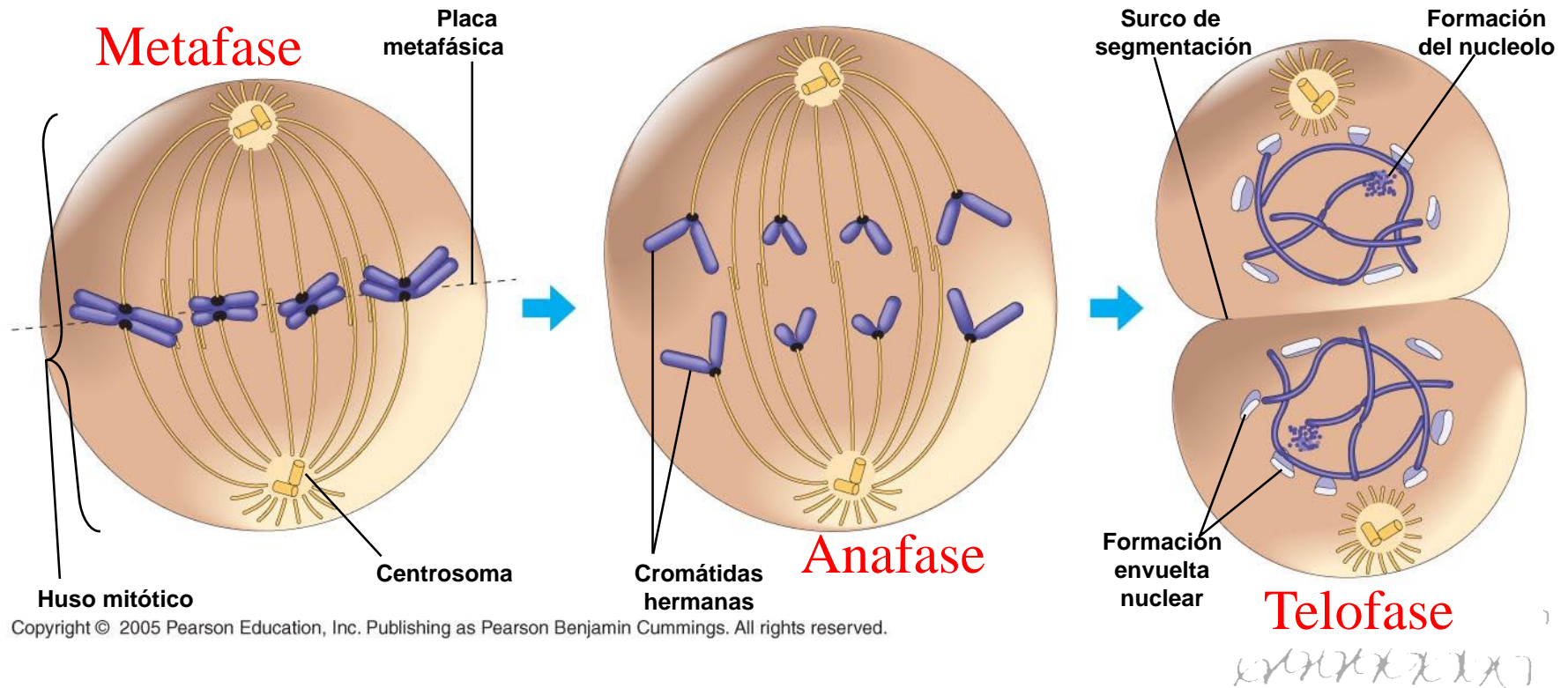
Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.





## Mitosis: Metafase

- Fase más larga de la mitosis en la que los microtúbulos cinetocóricos alinean a los cromosomas, ya en su máximo grado de empaquetamiento, en un plano situado a medio camino de los polos del huso, la **placa metafásica** o **ecuatorial**.
- Un cromosoma metafásico tiene, por tanto, dos cromátidas iguales.

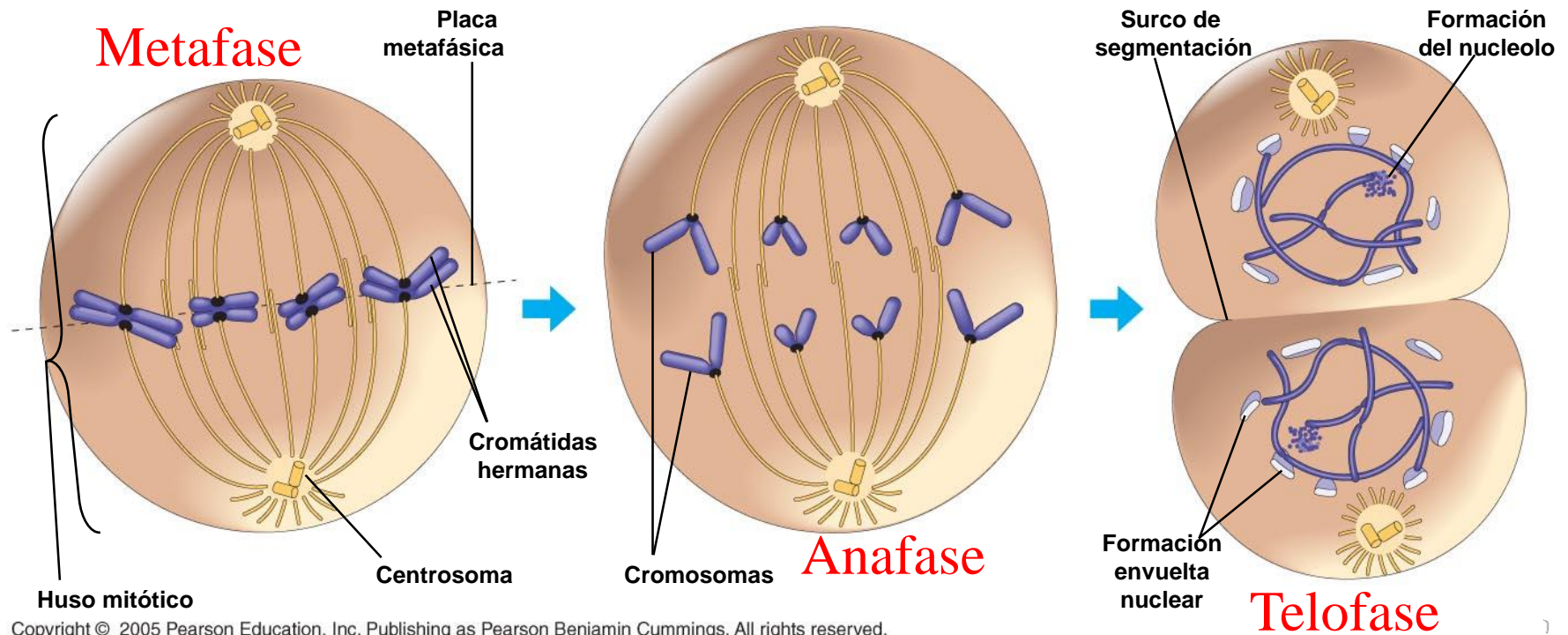






## Mitosis: Anafase

- Comienza cuando los cinetócoros de cada cromosoma se separan, permitiendo que cada cromátida sea arrastrada lentamente hacia un polo del huso.
- Cada cromosoma anafásico consta únicamente de una sola cromátida, considerándose a partir de este momento como **cromosomas individuales**.

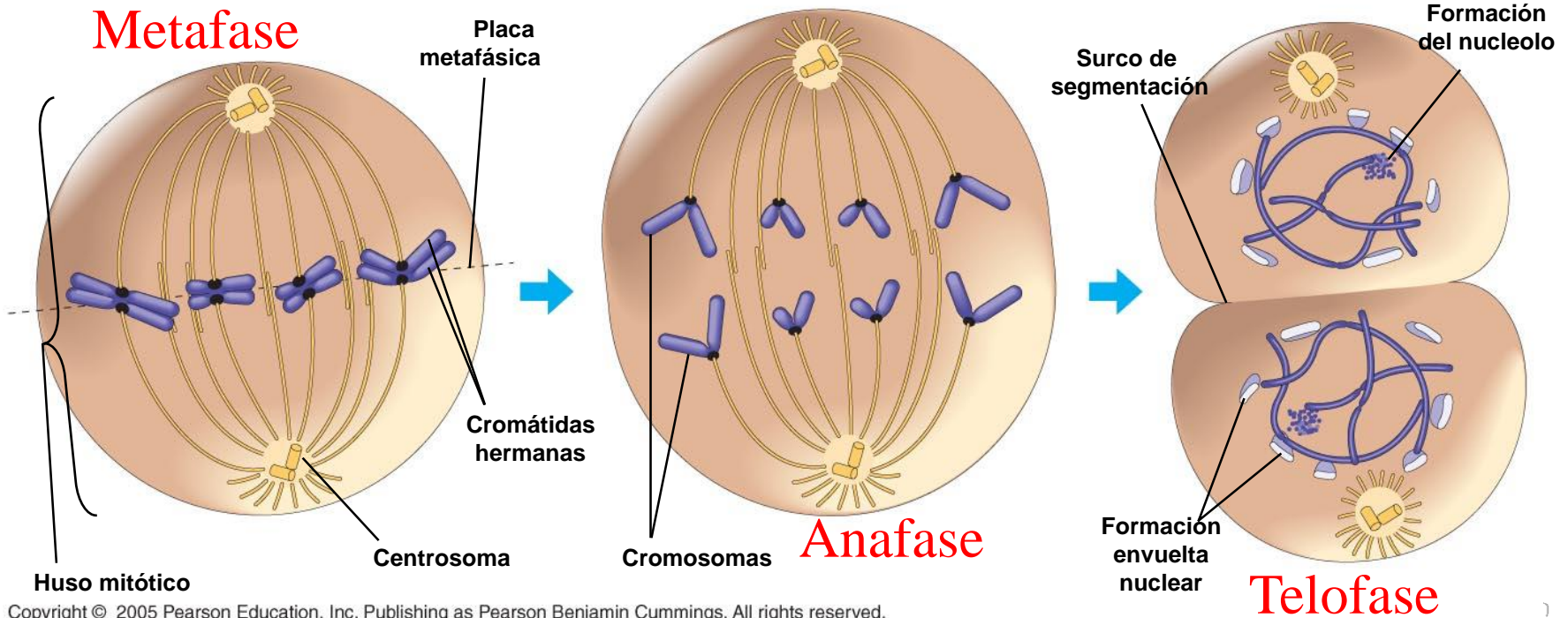


XXXXXXXXXX



# Mitosis: Anafase

- Cada grupo de cromátidas es arrastrado a un polo celular por acortamiento de los microtúbulos cinetocóricos (se va despolimerizando la tubulina).
- Se alarga el huso y se separan las cromátidas, ya que los túbulos polares crecen por sus extremos + y se repelen en la zona por donde se tocan y solapan, en el ecuador del huso. Este alargamiento se debe Los microtúbulos astrales también empujan los polos acercándolos a la superficie celular.

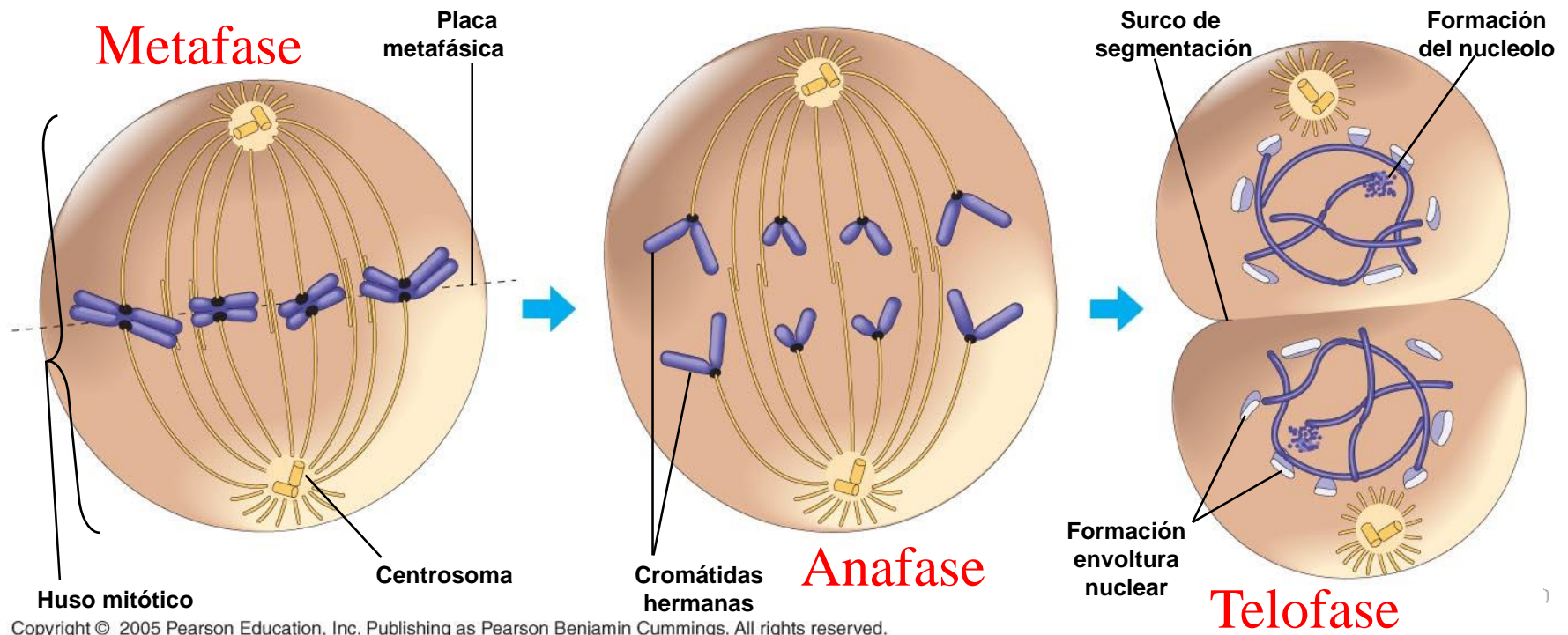


XXXXXXXXXX



# Mitosis: Telofase

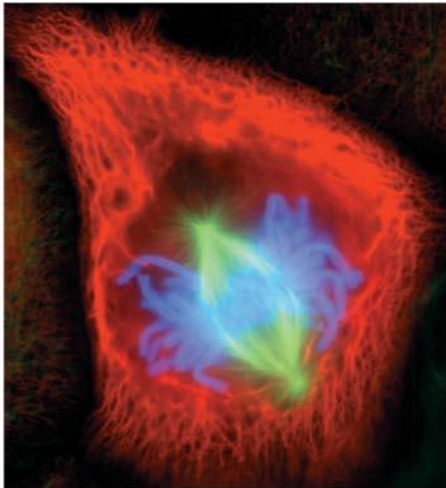
- Los cromosomas hijos separados llegan a los polos y los microtúbulos cinetocóricos desaparecen. Los microtúbulos polares se alargan aún más.
- Se vuelve a formar la envoltura nuclear y los nucleolos comienzan a reaparecer.
- El cromosoma se va descondensando y se va convirtiendo en cromatina.



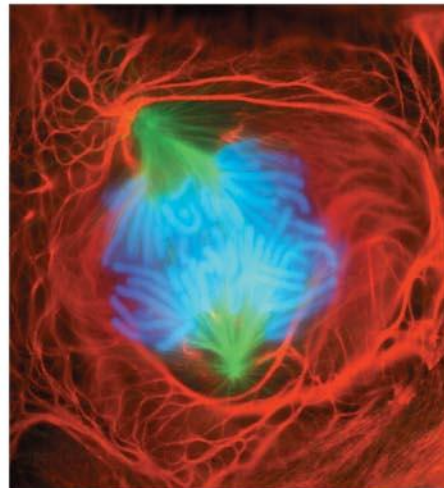




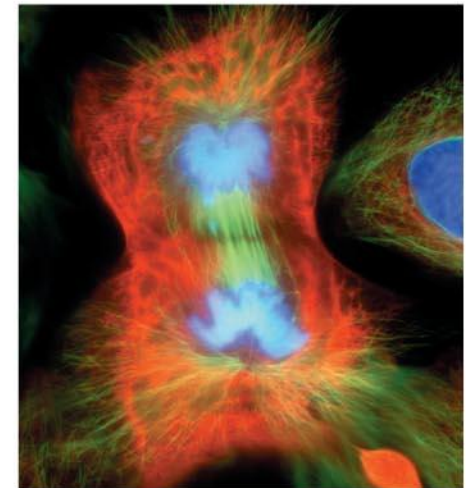
# HABILIDAD: Identificación al microscopio de las fases mitosis



**METAFASE**

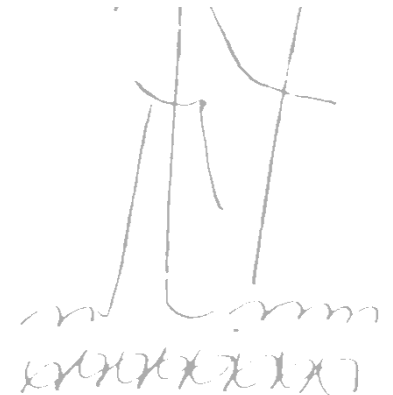


**ANAFASE**



**TELOFASE y CITOCINESIS**

Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.





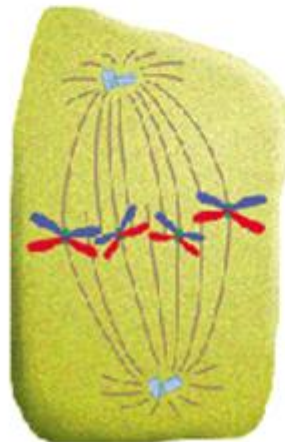
# Resumen Fases Mitosis

## PROFASE



- Condensación de la cromatina.
- Separación de los centriolos a los polos opuestos.
- Formación del huso acromático o mitótico.
- Desaparece la membrana nuclear y el nucléolo.
- Se forman los cinetocoros en los centrómeros.

## METAFASE



- Los cromosomas alcanzan el grado máximo de condensación.
- El huso acromático se extiende entre los dos polos.
- Se forma la placa ecuatorial o metafásica.
- Cada una de las cromátidas del cromosoma queda orientada hacia un polo.

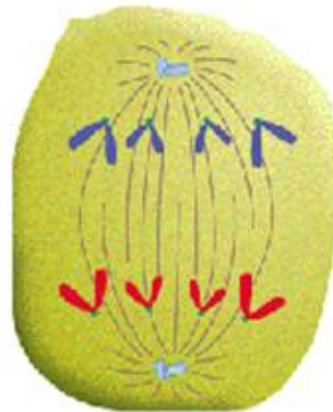
*Handwritten notes:*  
m  
xxxxxxxxxx





# Resumen Fases Mitosis

## ANAFASE



- *Las cromátidas de cada cromosoma se separan hacia los polos opuestos.*
- *Los microtúbulos polares se alargan y separan los dos polos del huso acromático.*
- *Concluye cuando las cromátidas llegan a los polos.*

**Web5**

## TELOFASE

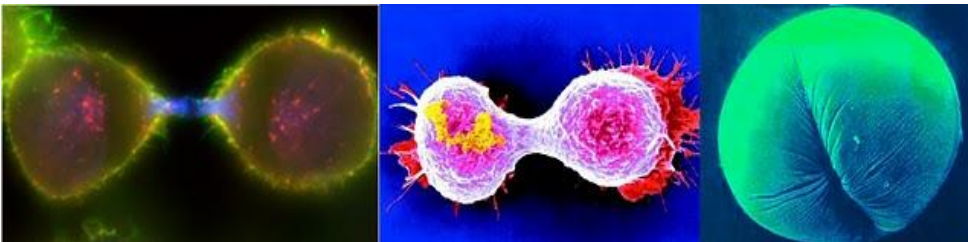


- *Los nucleolos reaparecen y los cromosomas empiezan a descondensarse.*
- *La membrana nuclear reaparece en cada polo.*



## Citocinesis en células animales

- La citoquinesis o citocinesis es la división del citoplasma, que tiene lugar tras la mitosis y es diferente en las células animales y en las vegetales.
- Se inicia habitualmente en la telophase, cuando la célula comienza a sufrir una constricción en la zona ecuatorial (**surco de división** o **segmentación**).
- La formación de dicho surco implica una expansión de la membrana en esta zona y una contracción progresiva causada por un **anillo contráctil de microfilamentos de actina y miosina**.
- El anillo producirá la separación de las dos hijas por estrangulación del citoplasma.

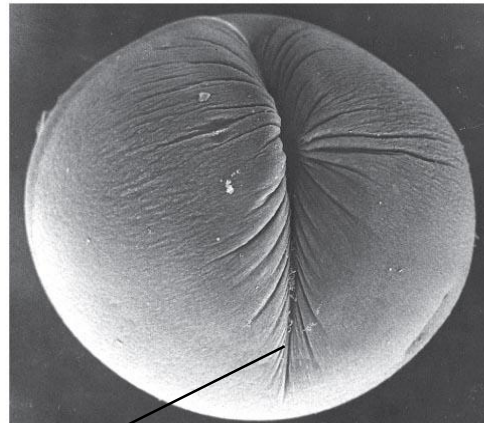


Existe estrangulamiento del citoplasma.

*en L1000  
XXXXXX*

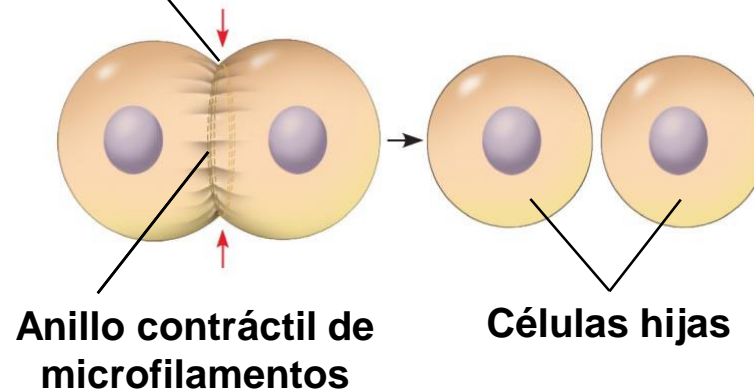


# Citocinesis en células animales



100  $\mu$ m

Surco segmentación



(a) Segmentación de una célula animal (SEM)

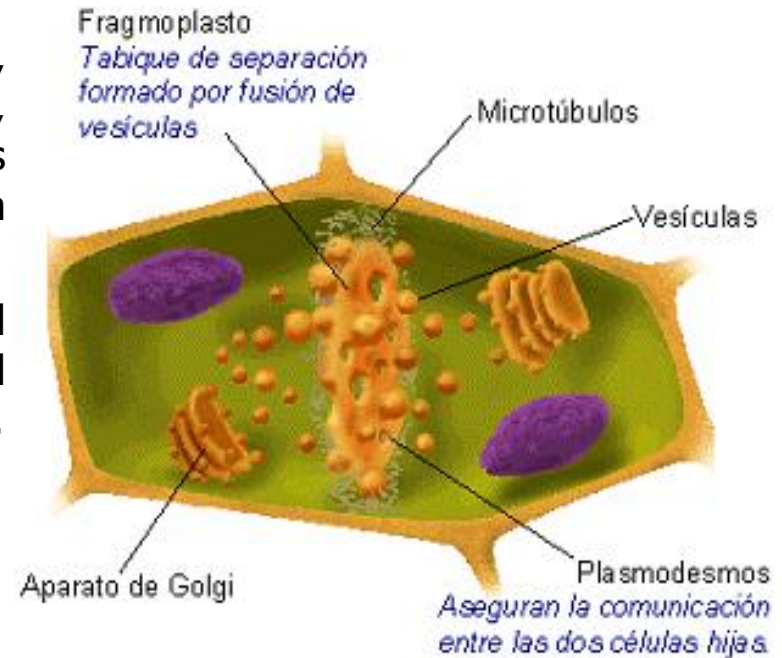




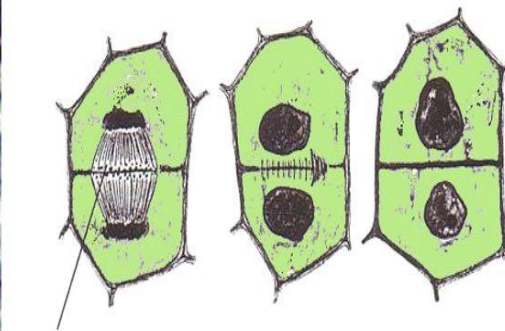
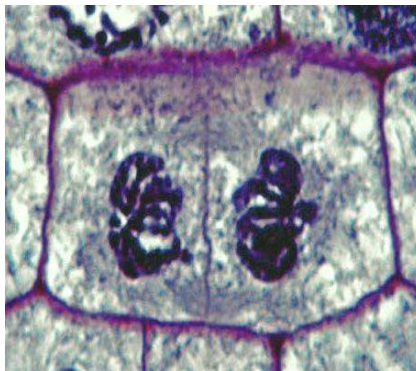


# Citocinesis en células vegetales

- Aquí no hay surco de división (no hay estrangulación) sino que las vesículas del Golgi, con los componentes de la pared celular, se van colocando en la zona media de la célula.
- Las vesículas se van fusionando, formando un tabique o **fragmoplasto**, que dará lugar a las membranas de las células hijas, separadas por la lámina media.
- Por último se depositará la pared primaria y, en algunos casos, la pared secundaria, dependiendo del tipo celular.



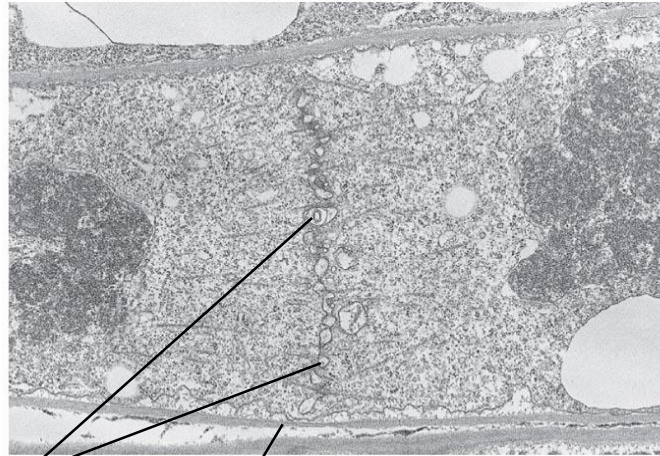
No existe estrangulamiento del citoplasma.



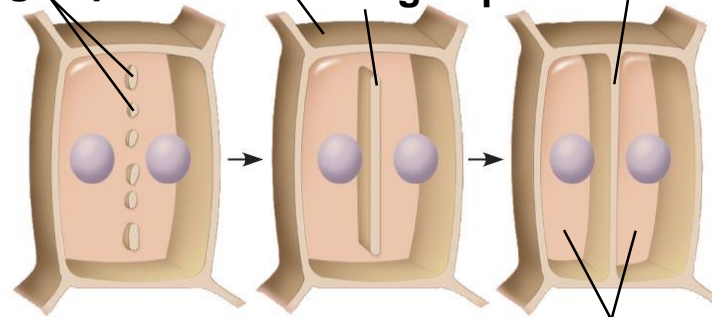
*Handwritten signature*



# Citocinesis en células vegetales

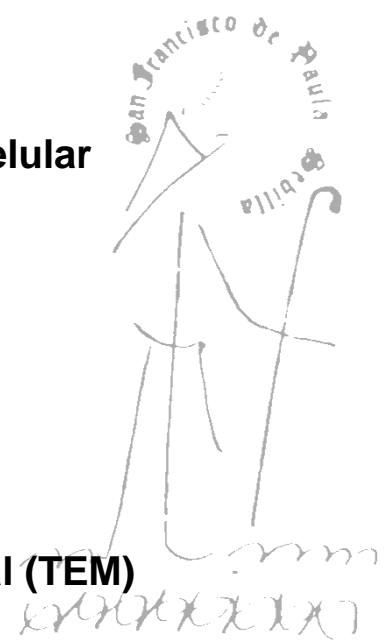


Vesículas formando fragmoplasto      Pared celular parental      1  $\mu\text{m}$   
Fragmoplasto      Nueva pared celular



**Células hijas**

**(b) Formación pared celular de una célula vegetal (TEM)**

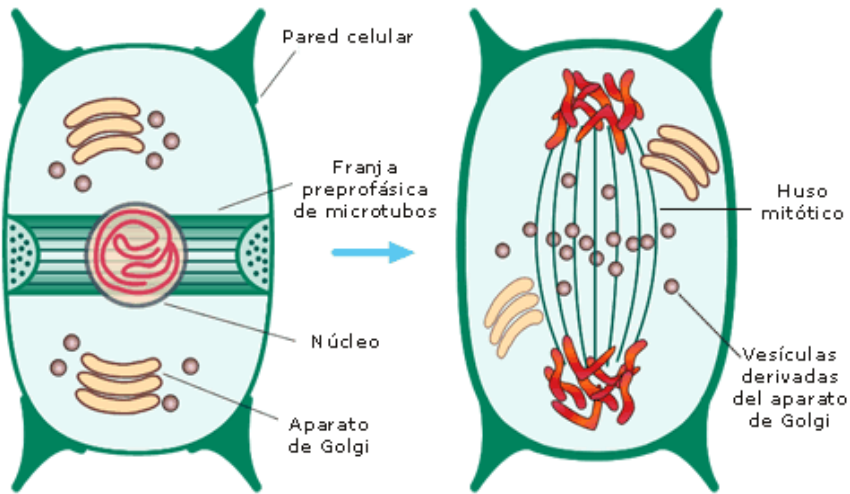




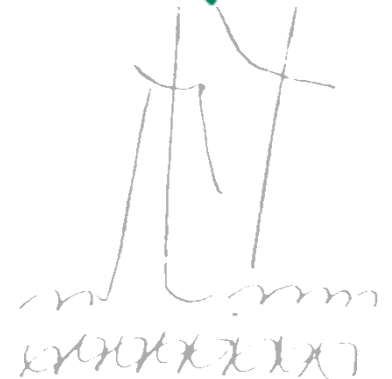
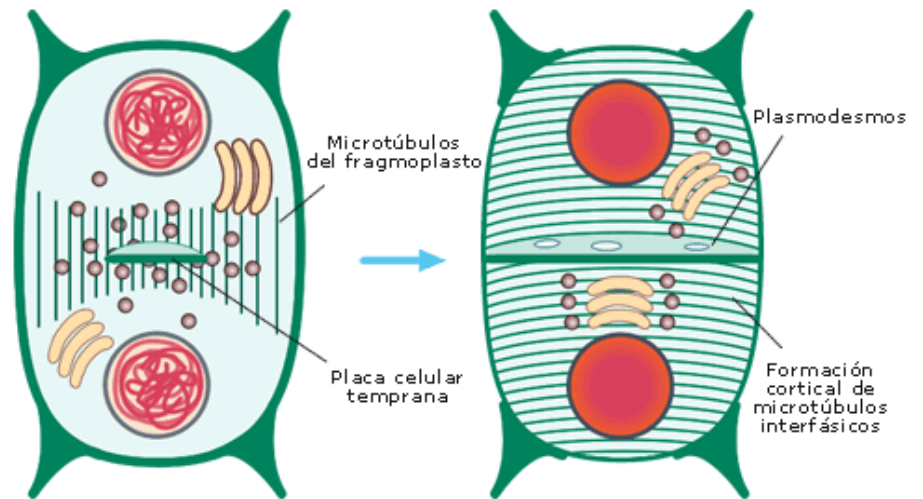


# División en células vegetales

a) Formación del huso mitótico



b) Citocinesis





## Resultado de la división celular

- La división celular por mitosis y citocinesis origina dos células hijas genéticamente idénticas entre sí y también idénticas a la célula precursora que se divide. No crea, por tanto, variabilidad. Por esto, en los organismos unicelulares este proceso puede considerarse una **reproducción asexual**.

