

Morfología de Plantas Vasculares

Tema 9: Núcleo Celular

Tema 9.1: Núcleo

Es un orgánulo típico de células eucarióticas (Fig. 9.1). En las células procarióticas se denomina **nucleoide** a la región citoplasmática en la que se encuentra el ADN dispuesto en una sola molécula circular.

■ **Forma:** generalmente esférica, puede ser lenticular o elipsoide, en algunos casos lobulado.

■ **Tamaño:** generalmente entre 5-25 μm , visible con microscopio óptico. En hongos hay núcleos de 0,5 μm , visibles solamente con microscopio electrónico. En las ovocélulas de *Cycas* y coníferas alcanza más de 500 μm : 0.5 mm, visible a simple vista.

■ **Posición:** característica para cada tipo celular, en células embrionales ocupa el centro, en células adultas generalmente está desplazado hacia un costado porque el centro está ocupado por una o más vacuolas.

■ **Número:** la mayoría de las células de plantas superiores son uninucleadas, aunque ciertas células especializadas pueden ser multinucleadas: cenocitos, durante un período de su existencia o toda la vida (fibras liberianas, tubos laticíferos, endosperma).

■ **Constancia:** normalmente todas las células vivas tienen núcleo, aunque hay excepciones. Los tubos cribosos del floema carecen de núcleo a la madurez, sin embargo reciben la influencia del núcleo de las células acompañantes.

Fig. 9.1. Núcleo, envoltura nuclear y retículo endoplasmático

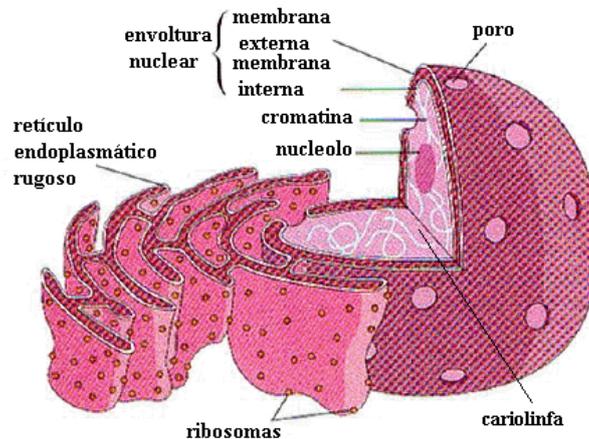


Imagen tomada de Moore *et al.* (1995)

FUNCIONES

La principal es la replicación y transcripción de los ácidos nucleicos. Almacena la información genética, pasándola a las células hijas en el momento de la división celular. Una parte de la información genética se encuentra almacenada en el ADN de cloroplastos (5-10%) y mitocondrias (2-5%).

Controla todas las actividades celulares, ejerciendo su control al determinar qué proteínas deben ser producidas por la célula y en qué momento. El control se ejerce a través del ARN mensajero. El ARN mensajero, que se sintetiza por transcripción del ADN, lleva la información al citoplasma, donde junto al ARN ribosómico y ARN de transferencia tiene lugar la síntesis de proteínas estructurales y enzimáticas que controlan los procesos metabólicos (Fig.8.8).

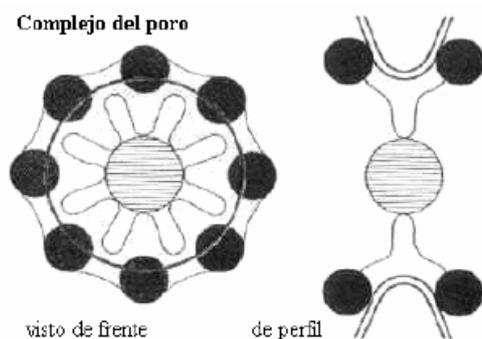


ESTRUCTURA DEL NÚCLEO INTERFÁSICO

La interfase es un estado aparente de reposo, es la etapa de mayor actividad metabólica.

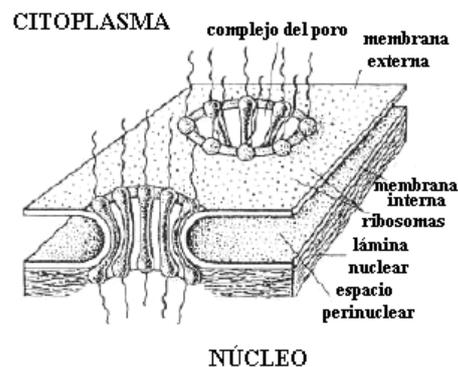
■ **Envoltura nuclear o carioteca:** Presenta dos capas, dos unidades de membrana, que limitan un espacio perinuclear entre ambas. La envoltura nuclear es una diferenciación local del RE, y está conectada con él, de manera que el espacio perinuclear se continúa con el lumen de las cisternas del RE llenas de enquilema. Exteriormente presenta ribosomas como el RE rugoso. La envoltura nuclear presenta **poros** distribuidos regularmente, y no son simples aberturas sino que están ocupadas por una estructura compleja: el anillo, que está constituido por 2 ciclos de 8 unidades de naturaleza ribonucleica, esféricas dispuestas simétricamente (Fig. 9.2). Entre el anillo y el poro circular o poligonal hay un sistema de fibrillas o proyecciones cónicas o fibrosas y puede haber una partícula central más o menos del tamaño de los ribosomas (Fig. 9.2). La cantidad de poros es mayor en los núcleos fisiológicamente más activos: a través de ellos pasan moléculas de ARN, proteínas y enzimas, es decir que los poros son translocadores de moléculas. Generalmente están dispuestos al azar, pero en *Equisetum* forman un cinturón alrededor del núcleo. Unida a la superficie de la envoltura nuclear se encuentra una capa delgada de proteínas, la **lámina nuclear**. Las proteínas de la lámina nuclear pertenecen al grupo de los filamentos intermedios de proteínas citoesqueléticas. La lámina nuclear interviene en la fijación de partes determinadas del cromosoma a dicha envoltura durante la interfase (Fig.9.3).

Fig. 9.2. Poros de la envoltura nuclear en vista superficial (izq.) y en corte (der.)



Esquema tomado de Strasburger. *et al.* (1994)

Fig. 9.3. Corte de envoltura nuclear



Esquema tomado de De Robertis (1996)

■ **Nucleolos:** Tienen una estructura proteica densa (hasta un 40%), y dos tipos de elementos: gránulos de ARN y fibrillas de ADN. Su función principal es la síntesis del ARN ribosómico. Los nucleolos están asociados con los cromosomas SAT o con satélite. Es por eso que el número de nucleolos en el núcleo corresponde normalmente al de cromosomas SAT. En este tipo de cromosoma el segmento de ADN conocido como zona organizadora nucleolar, codifica para el ARN ribosómico. Durante la división celular el nucleolo sufre cambios cíclicos, se desorganiza durante la profase y se vuelve a organizar en la telofase. Su tamaño es una medida de la intensidad de la síntesis proteínica celular.

■ **Cariolinfa,** nucleoplasma o jugo nuclear. Es un gel constituido por proteínas estructurales. Este tipo de proteínas no manifiesta ninguna actividad enzimática, se caracterizan por su estabilidad y por formar estructuras moleculares filamentosas.

■ **Cromatina:** El interior del núcleo está ocupado por la cromatina formada por proteínas y ADN (ácido desoxirribonucleico), sustancia que constituye los cromosomas (Fig.9.4). La cromatina debe su nombre al hecho de que se tiñe con colorantes básicos. En interfase la cromatina está descondensada al máximo, para posibilitar la replicación y la transcripción. Mediante la condensación las secuencias de ADN se vuelven inaccesibles; así se opera la represión génica al impedirse las actividades de replicación y transcripción. La condensación es la expresión morfológica de la inactivación de la cromatina. En cada tipo de célula de una planta algunos genes están en actividad y los demás quedan bloqueados.

Fig. 9.4. Estructura del ADN

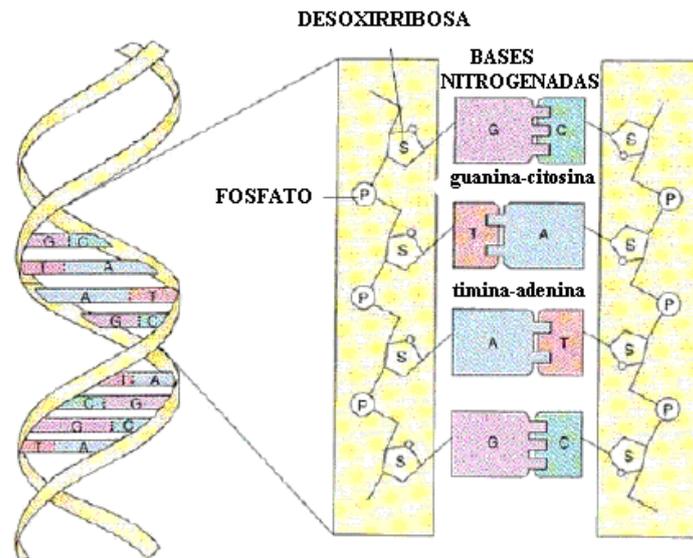


Imagen de Berg (1997)

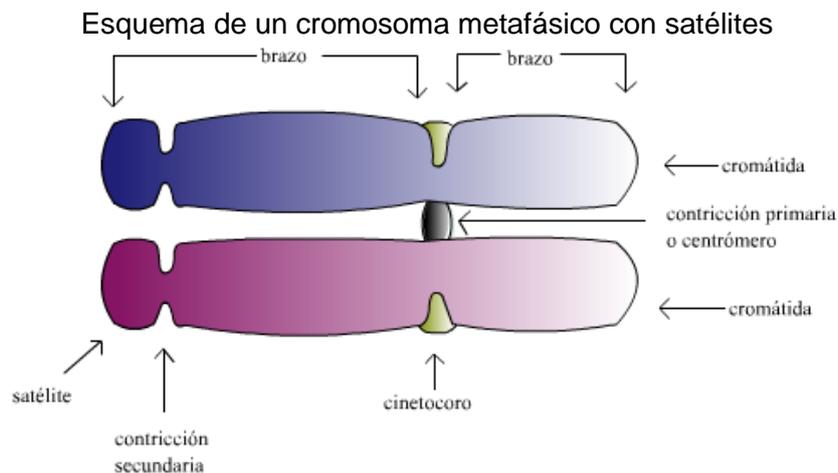
Cromosomas: En las células eucarióticas el ADN se encuentra fragmentado en varias porciones lineares que son los cromosomas. En interfase sus extremos están fijados a la lámina nuclear.

Son los portadores de la información hereditaria. Sólo son visibles durante la división celular, cuando aparecen como cuerpos cilíndricos que se tiñen intensamente (Fig. 9.5).

Fig. 9.5. Esquema de un cromosoma metafásico visto con MEB



Imagen tomada de Moore *et al.* (1995)



Sus funciones son:

Duplicación idéntica (replicación): son capaces de autoduplicarse y de mantener sus características a través de divisiones sucesivas.

Recombinación de la información hereditaria en la reproducción sexual, por meiosis y singamia.

Morfología

En anafase y telofase presentan las siguientes partes: dos **brazos**, uno a cada lado de la **constricción primaria o centrómero**, que es el lugar de unión con las fibras del huso mitótico o

acromático.

Algunos cromosomas presentan una constricción secundaria. Es una porción especial llamada **región organizadora nucleolar** (en inglés **NOR**), relacionada con la formación del nucleolo después de la división celular. Los cromosomas involucrados se llaman **cromosomas SAT** y la porción terminal, situada después de la constricción, constituye un **satélite**. En este tipo de cromosoma el segmento de ADN conocido como región organizadora nucleolar, codifica para el ARN ribosómico.

Estructura

Está compuesto por dos sustancias diferentes, un cuerpo o filamento que se colorea intensamente con colorantes básicos, la **cromátida**, constituida por ADN y proteínas llamadas histonas, y una matriz o calima formada por proteínas más complejas llamadas proteínas residuales. El ADN está en una sola molécula lineal larguísima, en forma de escalera, dispuesta en doble espiral y replegada en espiral varias veces. Cada porción de la molécula de ADN involucrando un cierto número de peldaños constituye un **gen**.

La forma y tamaño de cada cromosoma varía durante los estados de la división celular y durante la interfase. El cromosoma profásico y el metafásico están formados por dos cromátidas, de manera que parecen tener dos brazos a cada lado del centrómero.

Número cromosómico

La mayoría de las especies presenta un número característico de cromosomas, así *Haplopappus gracilis* tiene 4 cromosomas; *Allium cepa*, cebolla, tiene 16 cromosomas; *Zea mays*, maíz, tiene 20 cromosomas; *Triticum aestivum*, trigo para panificación, tiene 42 cromosomas; el número más alto conocido es el de la pteridofita *Ophioglossum reticulatum*, 1260 cromosomas.

El número de cromosomas presente en las células vegetativas de una planta es el **número somático**, generalmente par, y se representa como $2n=4$, $2n=42$, $2n=1260$. Esto se debe a que en cada célula hay 2 juegos de cromosomas, uno que proviene del gameto masculino y otro que proviene del gameto femenino, que se fusionaron para originar la célula huevo de la que proviene cada individuo.

Cuando se forman las células reproductivas, esporas y gametas, el número cromosómico se reduce a la mitad por medio de una división especial: meiosis. Estas células tienen el **número gamético** de cromosomas que se representa como $n=2$, $n=21$, $n=630$. Estas células tienen un solo juego de cromosomas. Al unirse dos gametas en la fecundación o singamia restituyen el número somático de cromosomas de la especie.

Tema 9.2: División Celular

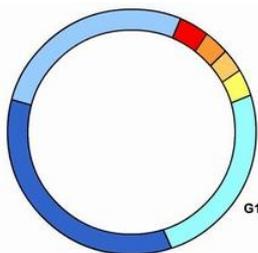
MITOSIS

El **ciclo celular** (Fig. 9.6) es la serie de eventos que se suceden en una célula en división.

Se reconocen dos etapas:

- **INTERFASE**, durante la cual la célula crece y el ADN se duplica,
- **MITOSIS**, división del núcleo en dos núcleos hijos y división del citoplasma.

Fig. 9.6. Ciclo celular



La mitosis fue descubierta por Hoffmeister, en 1848, en células de embriones vegetales. Es un mecanismo de separación física de los cromosomas que se han duplicado durante la interfase.

En los organismos unicelulares es una forma de multiplicación, y en los pluricelulares, es la responsable del crecimiento del cuerpo vegetativo.

El resultado de la mitosis es la formación de 2 células hijas con el mismo número de cromosomas que la célula madre.

¿En qué parte de la planta se encuentran células que se dividen por mitosis?

En la planta las células que se dividen activamente por mitosis se ubican en los meristemas. En determinadas ocasiones cualquier célula viva con núcleo puede desdiferenciarse y dividirse por mitosis (Figs. 9.7 y 9.7a).

Fases de la Mitosis

La mitosis es un proceso continuo, que convencionalmente se divide en cuatro etapas: **profase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**.

Fig. 9.7. Mitosis en células de *Allium cepa*



Profase (*pro*: primero, antes). Los cromosomas se visualizan como largos filamentos dobles, que se van acortando y engrosando. Cada uno está formado por un par de cromátidas que permanecen unidas sólo a nivel del centrómero. En esta etapa los cromosomas pasan de la forma laxa de trabajo a la forma compacta de transporte. La envoltura nuclear se fracciona en una serie de cisternas que ya no se distinguen del RE, de manera que se vuelve invisible con el microscopio óptico. También los nucleolos desaparecen, se dispersan en el citoplasma en forma de ribosomas.



Metafase (*meta*: después, entre). Aparece el **huso mitótico o acromático**, formado por haces de microtúbulos; los cromosomas se unen a algunos microtúbulos a través de la porción proteica del centrómero (cinetocoro). También hay microtúbulos polares, más largos, que se solapan en la región ecuatorial de la célula. Los cromosomas muestran el máximo acortamiento y condensación, y son desplazados por los microtúbulos hasta que todos los centrómeros quedan en el plano ecuatorial. En esta fase se puede contar el número de cromosomas de la especie.



Anafase (*ana*: arriba, ascendente). Se separan los centrómeros hijos, y las cromátidas, que ahora se convierten en cromosomas hijos. Cada juego de cromosomas hijos migra hacia un polo de la célula. El **huso mitótico** es la estructura que lleva a cabo la distribución de los cromosomas hijos en los dos núcleos hijos. El movimiento se realiza gracias a la actividad de los microtúbulos cromosómicos, que se van acortando en el extremo unido al cinetocoro. Los microtúbulos polares se deslizan en sentido contrario, distanciando los dos grupos de cromosomas hijos (Strasburger *et al* 1994).

Hay drogas específicas que influyen experimentalmente en la formación y descomposición de los microtúbulos. La colquicina o colchicina es un alcaloide extraído de *Colchicum autumnale* que inhibe la polimerización de moléculas de tubulina. Cuando se aplica a células en división, impide la formación de los microtúbulos, por lo tanto no se forma el huso mitótico, y la consecuencia es que se duplica el número de cromosomas de la célula.



Telofase (*telos*: fin). Comienza cuando los cromosomas hijos llegan a los polos de la célula. Los cromosomas hijos se alargan, pierden condensación, la envoltura nuclear se forma nuevamente a partir del RE rugoso y se forma el nucleolo a partir de la región organizadora del nucleolo de los cromosomas SAT.

Fig.9.7ª. Representación esquemática de la mitosis

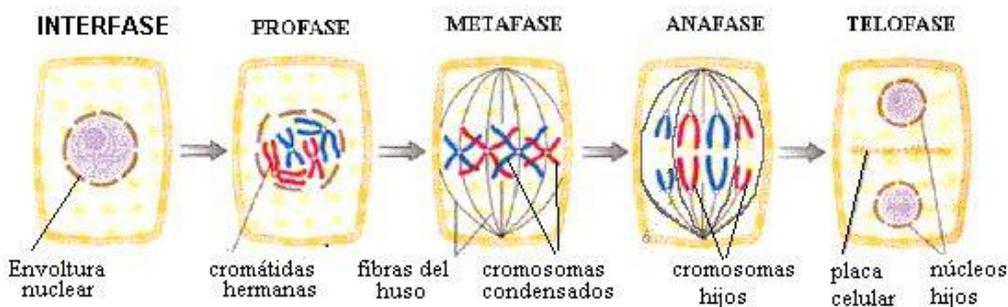


Imagen tomada de Berg (1997)

CITOCINESIS Y FORMACIÓN DE LA PARED CELULAR

Citocinesis es la división del citoplasma, ocurre luego que se ha dividido el núcleo en dos núcleos hijos durante la mitosis. En las plantas superiores, durante la telofase tardía, aparece en el ecuador de la célula, una estructura llamada fragmoplasto.

Está constituida por dos sets de microtúbulos con polaridad opuesta que superponen sus extremos en el plano de división. Se forma a medida que el huso acromático desaparece.

Entre los microtúbulos aparecen numerosos dictiosomas, que se unen formando una gran cisterna. En su interior se encuentran los polisacáridos necesarios para la formación de la laminilla media y de la fase amorfa de la pared primaria (Fig.9.8).

La membrana de los dictiosomas unidos entre sí se transforma en membrana plasmática. Túbulos del retículo endoplasmático se disponen en la placa celular en formación, perpendicularmente con respecto a ella. A medida que se forma la pared primaria, quedan mangas citoplasmáticas alrededor de los túbulos del retículo endoplasmático, rodeadas por la membrana plasmática: constituyen los plasmodesmos primarios.

Los microtúbulos juegan un papel importante, al determinar la orientación y disposición de las microfibrillas de celulosa que constituyen la fase fibrilar de la pared primaria. Las microfibrillas son sintetizadas por las rosetas de celulosa-sintasas ubicadas en la membrana plasmática. La formación del tabique progresa en forma centrífuga hasta alcanzar la periferia, exactamente en el lugar donde se formó la banda preprofásica (Fig. 8.12).

Fig.9.8. Formación de la pared primaria

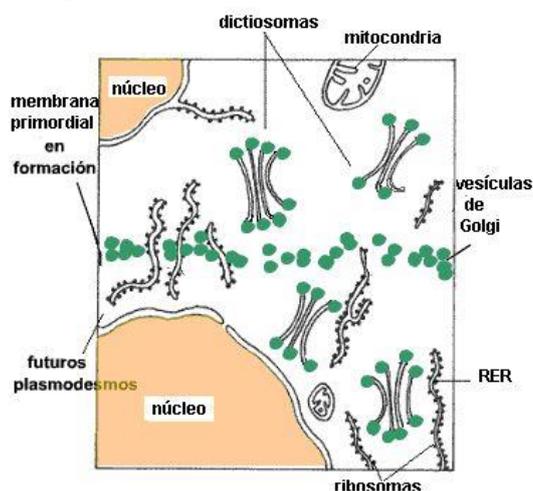


Imagen modificada a partir de Strasburger *et al.* (1986)

GENOMA

El juego de cromosomas diferentes que incluye el surtido completo de genes necesarios para caracterizar una especie determinada se llama **genoma** y se representa con la letra **x**.

El genoma puede estar representado 2 ó más veces en el complemento cromosómico de una especie. Así en una especie diploide, la célula somática presenta 2 genomas, es decir que **2n=2x**. Los gametos presentan un solo genoma, son haploides, es decir que **n=x**. Los gametos se forman después de la **meiosis**, división celular en la cual **una célula madre origina 4 células hijas con el número cromosómico reducido a la mitad**. Además esas células hijas son diferentes a la célula madre y también diferentes entre sí.

El resultado de la meiosis es la formación de 4 células hijas con la mitad de cromosomas que la célula madre.

En qué partes de la plantas hay células que se dividen por meiosis?

En los **sacos polínicos de las anteras**, encontramos microsporocitos y en el **óvulo** una célula llamada macrosporocito, que se divide por meiosis. La meiosis siempre está asociada a la reproducción sexual, dando por resultado la formación de esporas o gametas.

POLIPLOIDÍA

Hay organismos o células cuyos núcleos presentan más de dos genomas, y estas células u organismos se denominan poliploides. El grado de ploidía puede variar, así hay organismos triploides (3x), tetraploides (4x), hexaploides (6x), etc. Por ejemplo: *Triticum aestivum*, es un hexaploide. La causa de este fenómeno son las perturbaciones de la división nuclear, que pueden producirse naturalmente por altas temperaturas, radiaciones, y experimentalmente con ciertas drogas como la colchicina. Las células poliploides son frecuentemente mayores, y en consecuencia también lo son las plantas, frutos, etc. Esto tiene importancia comercial y por eso se utilizan mucho las plantas poliploides en agricultura.

POLIPLOIDÍA SOMÁTICA O ENDOPOLIPLOIDÍA

Normalmente dos genomas en cada célula son suficientes para producir la cantidad necesaria de ARN para dirigir la síntesis proteica. Sin embargo, en las células vegetales muy activas metabólicamente, dos copias parecerían insuficientes, y entonces el núcleo replica su ADN volviéndose poliploide. Parecería que en las plantas superiores, muchos tipos de células son poliploides. Los vasos del xilema, las células del tapete, las células secretoras, muchos pelos, etc. son generalmente poliploides. En un mismo individuo pueden aparecer células con distintos niveles de ploidía: en *Tropaeolum majus* se han encontrado células en el pecíolo con nivel de ploidía 32x; células en tallo 128x y ciertas células del tegumento seminal son 1024x. A veces se forman células polinucleadas, como por ejemplo en los tubos laticíferos, en el endosperma y en las células del tapete.

Otras veces se produce **politenia**, es la multiplicación de ADN sin aumento del número cromosómico. Cromosomas politénicos muy grandes se han encontrado en el suspensor del embrión de *Phaseolus coccineus*, *Phaseolus vulgaris* y *Loasa sp.*

Niveles de ploidía en una especie con x=5

Nivel de ploidía	Nº somático	Nº gamético
Diploide	$2n = 2x = 10$	$n = x = 5$
Triploide	$2n = 3x = 15$	----
Tetraploide	$2n = 4x = 20$	$n = 2x = 10$
Hexaploide	$2n = 6x = 30$	$n = 3x = 15$

Glosario

ADN: compuesto orgánico portador de la información genética, capaz de autoduplicarse, y de determinar la síntesis del **ARN** (ácido ribonucleico).

Autoduplicarse: duplicarse a sí mismo.

Cariolinfa: se utiliza este término para referirse al jugo nuclear en que se halla dispersa la cromatina.

Célula eucariótica: célula que posee núcleo verdadero limitado por la envoltura nuclear.

Cenocito: masa protoplasmática multinucleada como consecuencia de divisiones nucleares no seguidas de citocinesis.

Centrífugo: indica algo que avanza o se dirige desde el centro hacia la periferia.

Colorante: es una sustancia que posee color y es capaz de cederlo al combinarse con otra. Para que esto ocurra, estas moléculas orgánicas contienen dos clases de grupos químicos activos: **cromóforos** (los que llevan el color), y **auxocromos** (los que permiten cederlo).

Enquilema: contenido del retículo endoplasmático.

Espora: célula reproductora, habitualmente unicelular, capaz de dar lugar a un adulto sin fusionarse con ninguna otra célula.

Gameto: célula sexual madura, capaz de unirse a la del sexo contrario para formar el cigoto.

Lenticular: de forma de lenteja.

Meiosis: proceso que consta de dos divisiones nucleares sucesivas en las cuales el número de cromosomas se reduce a la mitad, produciéndose además la recombinación y segregación de genes; como consecuencia de la meiosis se pueden formar gametos o esporas.

Polimerización: reacción química por la que se forman grandes moléculas lineales (polímeros) por combinación de moléculas pequeñas (monómeros). Si las cadenas lineales de polímeros se unen entre sí mediante enlaces químicos, se forman polímeros entrecruzados.

Procariota: célula que carece de envoltura nuclear y de orgánulos delimitados por membranas.

Proteína enzimática: compuesto orgánico complejo formado por muchos (100 o más) aminoácidos enlazados por enlaces peptídicos, capaz de acelerar procesos químicos específicos disminuyendo la energía de activación requerida.

Replicación: producción de una segunda molécula de ADN exactamente igual a la primera molécula o cromátida hermana.

Singamia: fecundación, proceso por el cual dos células haploides se fusionan para formar un cigoto diploide.

Transcripción: síntesis de una molécula de ARN complementaria a una cadena de ADN, catalizada por enzimas.

Tubulina: unidad dímera formada por dos proteínas parecidas, pero no idénticas: tubulinas alfa y beta, que forman un polímero helicoidal; constituyen el elemento molecular básico de los microtúbulos.

Bibliografía

- Berg, L. R.** 1997. *Introductory Botany, Plants, People and The Environment*. Saunders College Publishing.
- De Robertis, E. M. F (h.), J. Hib & R. Ponzio.** 1996. *Biología Celular y Molecular*. Ed. El Ateneo.
- Cavalier-Smith.** 1988. Eukaryote cell evolution. *Proc. XIV International Bot. Congress*: 203-223.
- Mauseth, J. D.** 1988. *Plant anatomy*. The Benjamin/Cummings Publishing Co., Inc.
- Moore, R., W. Dennis Clark & K. R. Stern.** 1995. *Botany*. Wm. C. Brown Publishers.
- Raven, P. H., R. F. Evert & S. E. Eichhorn.** 1992. *Biology of Plants*, 5th ed. Worth Publishers.
- Sheeler, P. & D. E. Bianchi.** 1980. *Cell Biology: Structure, Biochemistry and Function*. John Wiley & Sons.
- Strasburger, E. y Col.** 1994. *Tratado de Botánica*. 8a. Ed. castellana. Ediciones Omega S.A.