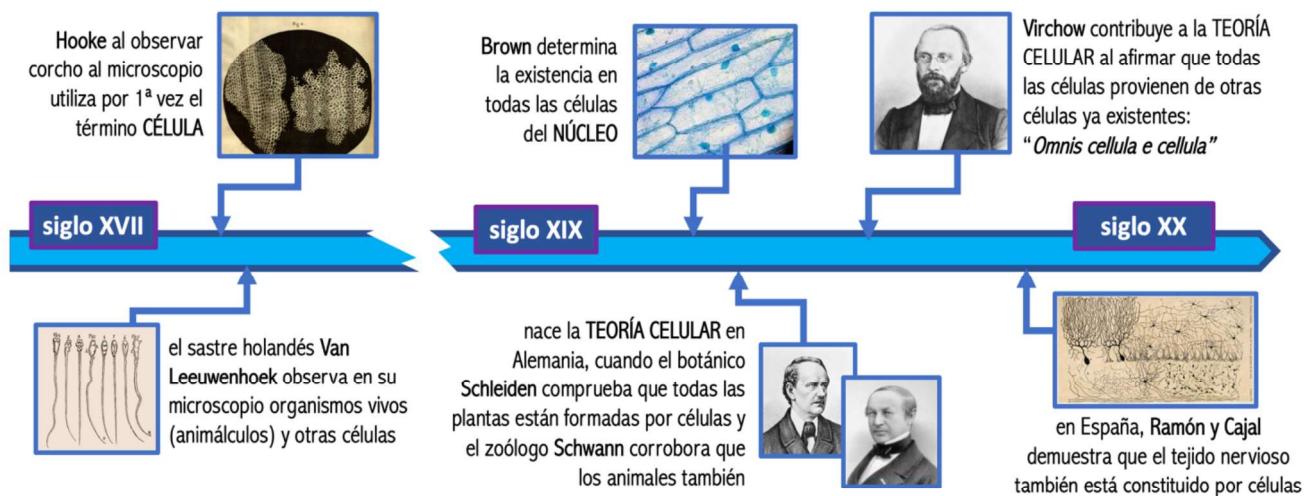


TEMA 6: CÉLULAS PROCARIOTAS Y EUCA RIOTAS: EL NÚCLEO



TEORÍA CELULAR:

- La célula es la **unidad morfológica / estructural** de los seres vivos (todos están formados por una o más células).
- La célula es la **unidad fisiológica / funcional** de los seres vivos (intercambia materia y energía con el medio pues en la célula se producen las reacciones químicas, y es la unidad más pequeña capaz de realizar las funciones vitales).
- La célula es la **unidad reproductiva** (toda célula procede de otra ya existente) y la **unidad genética** de los seres vivos (contiene la información hereditaria para su desarrollo y funcionamiento y es capaz de transmitirla a sus células hijas).

1. Forma y tamaño de la CÉLULA:

La **forma** de las células es muy variable, de hecho, algunas células como las amebas o los leucocitos son capaces de cambiar constantemente de forma al emitir prolongaciones citoplasmáticas. Otras, al presentar pared celular rígida, presentan formas muy estables. La forma depende de la edad de la célula (las más jóvenes son más globulares), de si están libres o formando parte de tejidos y, sobre todo, de la función que realizan. Por ello, las células musculares son alargadas para facilitar la contracción, las neuronas presentan dendritas y axón para transmitir el impulso nervioso y las células del epitelio intestinal presentan pliegues para aumentar la superficie de absorción.

El **tamaño** de las células es extremadamente variable. El tamaño medio de una **célula procariota** oscila entre **2-5 µm**, mientras que las **células eucariotas** son de media unas 10 veces más grandes (**20-50 µm**). Las hay más pequeñas y más grandes, como el óvulo (100-150 µm) que es la célula más grande del ser humano. En otras especies, hay células que pueden verse a simple vista como por ejemplo los ovocitos de las aves.

La **relación superficie/volumen** limita el tamaño de las células ya que un tamaño excesivo dificultaría la entrada de suficientes nutrientes y la salida de desechos. Además, el incremento de tamaño celular no va acompañado de un incremento de ADN, por lo que llegado cierto punto, el ADN del núcleo no podría sintetizar suficientes enzimas para controlar las reacciones metabólicas. Es por ello que en las células siempre debe existir una relación adecuada entre el volumen del núcleo y el volumen del citoplasma.

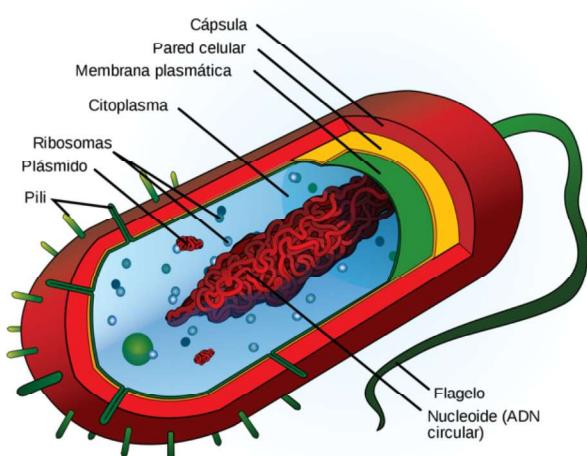
2. Tipos de ORGANIZACIÓN CELULAR:

Todas las células, procariotas y eucariotas, presentan estructuras comunes: la **membrana plasmática** (bicapa lipídica que envuelve a la célula y regula el intercambio de sustancias con el exterior), el **citoplasma** (contenido de la célula relleno de una matriz fluida llamada citosol) y el **material genético** (ácidos nucleicos).

	ORGANIZACIÓN PROCARIOTA	ORGANIZACIÓN EUCARIOTA
Tamaño celular más frecuente	2-5 μm	20-50 μm
Forma de las células	COCOS (esféricos), BACILOS (alargados), VIBRIOS (forma de coma) o ESPIRILOS (hélices)	muy variable
Número de células	unicelulares (una excepción son las colonias de cianobacterias)	unicelulares o pluricelulares
Membrana plasmática	no contienen colesterol	sí contiene colesterol (en animales) o moléculas similares (ESTEROLAS).
Pared celular	formada por peptidoglucano (pseudopeptidoglucano en arqueobacterias)	constituida por celulosa en células vegetales y quitina en hongos
Estructuras de locomoción	flagelos formados por flagelina . Pueden poseer fimbrias (+cortas y abundantes) para adherirse a superficies y un pili para intercambiar material genético (conjugación).	cílios y flagelos formados por tubulina . Con axonema 9+2 , zona de transición y una base llamada corpúsculo basal o cinetosoma (estructura similar a los centriolos)
Orgánulos membranosos	No (salvo excepciones como los tilacoides de las cianobacterias)	Sí (aparato de Golgi, RER y REL, vacuolas, lisosomas, gliosomas...)
Tipos de ribosomas	70S : subunidad grande 50S + subunidad pequeña 30S)	80S : subunidad grande 60S + subunidad pequeña 40S
Envoltura nuclear	Ausente. El material genético está en una región llamada NUCLEOIDE	2 membranas nucleares, externa e interna, con presencia de poros
Nucléolo	No aparece	Presente en el núcleo
Tipo de ADN	Normalmente 1 sola molécula circular (cromosoma bacteriano) sin histonas (en arqueobacterias sí que hay). Pueden tener pequeños plásmidos (fragmentos circulares de ADN extracromosómicos).	Varias moléculas lineales de ADN (cromosomas) asociadas a histonas. Forman la cromatina en el interior del núcleo celular que se condensa en cromosomas.
División celular	fisión binaria (bipartición)	mitosis y meiosis
Tipo de ARNm	sin intrones (en arqueobacterias sí) y policistrónico (varias	con intrones (= regiones no codificantes) y exones.

	cadenas polipeptídicas en el mismo ARNm)	Monocistrónico (solo 1 cadena polipeptídica en un mismo ARNm)
Tipo de ARN polimerasa	1 solo tipo en bacterias y varias en arqueobacterias	varias ARN-polimerasas

*Otras estructuras propias de las células PROCARIOTAS:



Algunas bacterias presentan, envolviendo a la pared, una **CÁPSULA BACTERIANA** (formada por polisacáridos, que a veces puede ser mucilaginosa, y relacionada en la virulencia).

Las células procariotas presentan, además, unas invaginaciones en la membrana plasmática llamados **MESOSOMAS** que, aunque se les había atribuido numerosas funciones, parece ser que son un artefacto de los métodos de microscopía utilizados para observar las células.

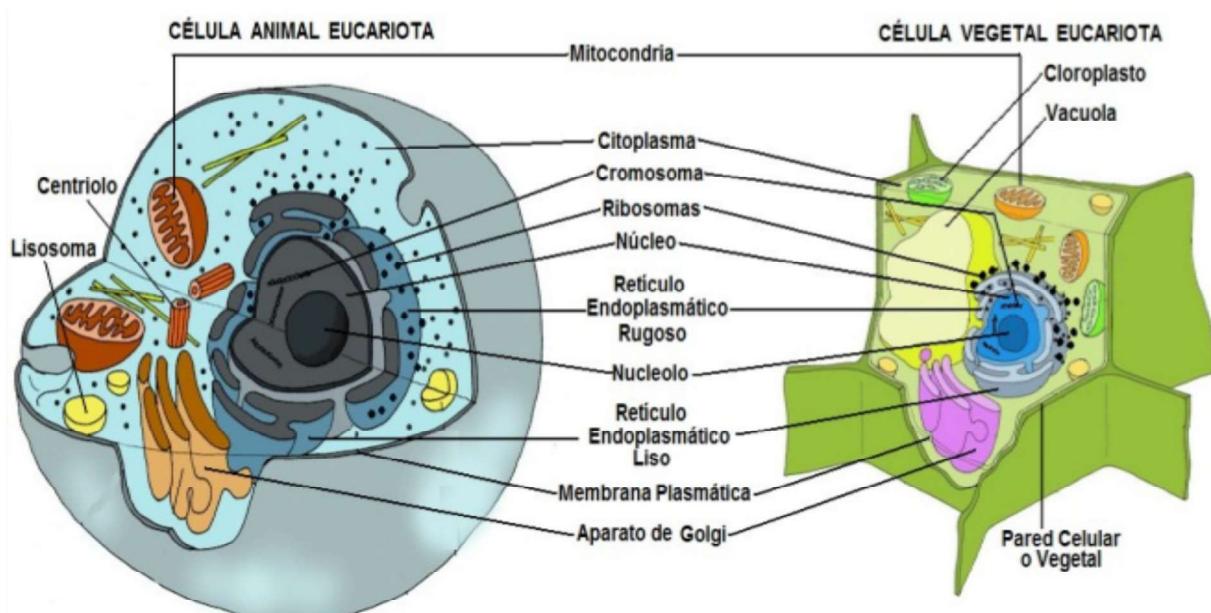
En su citoplasma, las células procariotas pueden presentar: **VACUOLAS DE GAS** (regulan flotabilidad), **CARBOXISOMAS** (con enzimas para incorporar CO₂) o estructuras con pigmentos para realizar la fotosíntesis como los **CLOROSOMAS** o los **TILACOIDES** de las cianobacterias.

3. Particularidades de los distintos tipos de CÉLULAS EUCA RIOTAS:

La presencia de una **pared celular con plasmodesmos**, plastos (entre los que destacan los **cloroplastos** cuyos pigmentos permiten la fotosíntesis) y una **gran vacuola central** que desplaza lateralmente al núcleo son las principales características que diferencian las células eucariotas vegetales de las animales.

Además, las células animales presentan un **centrosoma con centriolos** mientras que las vegetales tienen un **centro organizador de microtúbulos** donde no aparece el diplosoma (= los 2 centriolos) ni el áster.

Por último, en las células vegetales no existen lisosomas como tales, pero si **estructuras similares a lisosomas** que realizan la misma función.



En la tabla se resumen MÁS DIFERENCIAS / SEMEJANZAS entre células eucariotas animales y vegetales:

	EUCARIOTA ANIMAL	EUCARIOTA VEGETAL
Capa externa a la membrana plasmática	algunas se rodean de una matriz extracelular (tejido conectivo)	pared celular de celulosa con plasmodesmos (=comunicaciones)
Posición del núcleo con nucléolo	central	lateral (por la vacuola)
Centrosoma/ Centro organizador de microtúbulos	con centriolos	sin centriolos
Estructuras de locomoción	a veces, cilios y/o flagelos	ausentes (solo en anterozoides)
Microtúbulos, filamentos intermedios y microfilamentos del CITOESQUELETO	presentes	presentes
Inclusiones citoplasmáticas	gránulos de GLUCÓGENO	gránulos de ALMIDÓN
Ribosomas 80S	presentes (60 S + 40 S)	presentes (60 S + 40S)
Orgánulos con doble membrana	mitocondrias	mitocondrias y cloroplastos*
Orgánulos con membrana simple	RER y REL presentes	RER y REL presentes
	aparato de Golgi grande	aparato de Golgi pequeño
	vesículas de pequeño tamaño	una VACUOLA grande cuya membrana es el TONOPLASTO
	lisosomas	poseen estructuras similares
	con peroxisomas**	con peroxisomas**
	no hay glioxisomas***	con glioxisomas***

* Se denominan **PLASTOS** en general a los orgánulos vegetales encargados de producir y almacenar sustancias.

Cuando son estimulados por la luz y se enriquecen con clorofila, se denominan **CLOROPLASTOS**, solo presentes en las partes verdes de la planta.

** Los **PEROXISOMAS** son vesículas con oxidasa y catalasas que se encargan de degradar ciertas sustancias tóxicas como el H_2O_2 .

*** Los **GLIOXISOMAS** son orgánulos membranosos que se hallan en los tejidos que almacenan lípidos en semillas (y en algunos hongos).

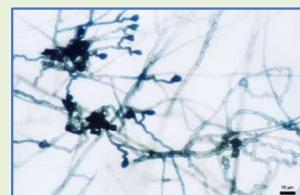
¿Y qué ocurre con las células eucariotas fúngicas?

Las células de **hongos**, muchas veces olvidadas, al tratarse de seres heterótrofos, son similares a las animales, pero tienen ciertas peculiaridades:

- Poseen una **pared celular**, pero a diferencia de la vegetal, está constituida por **quitina** y glucano y no tiene plasmodesmos (no hay comunicación entre ambos lados de la pared.)

- Como todas las eucariotas poseen esteroles en su membrana (pero nunca colesterol que está únicamente presente en células animales). A veces, especialmente cuando forman hifas, entre las células de la misma hifa no existen membranas y varios núcleos comparten el mismo citoplasma.

- Generalmente carecen de cilios y flagelos y su polisacárido de reserva es el **glucógeno**.



4. Estudio de la CÉLULA: MICROSCOPIO ÓPTICO Y ELECTRÓNICO

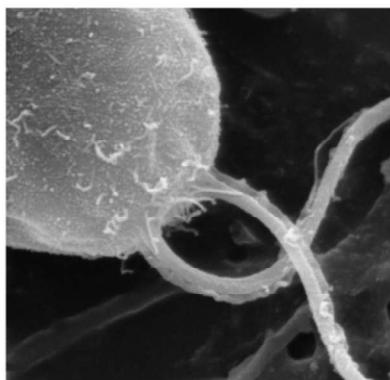
El **microscopio óptico** es un instrumento que utiliza los **fotones de la luz visible** y está constituido por 2 lentes de aumento: el **objetivo** y el **ocular**. Normalmente, las muestras biológicas vivas suelen ser incoloras o transparentes por lo que se usan diferentes tinciones que nos permiten ver los detalles. En el caso de preparaciones histológicas (de tejidos), las muestras deben ser lo suficientemente finas para que la luz las atraviese, así que previamente suelen cortarse finísimas capas con ayuda de **microtomos**.

No obstante, el **poder de resolución** (capacidad de distinguir 2 puntos muy próximos como separados entre sí) del microscopio óptico no permite observar detalles de orgánulos ni ultraestructuras celulares. Para ello se utiliza el **microscopio electrónico**, que utiliza **haces de electrones (e⁻)** en vez de luz visible.

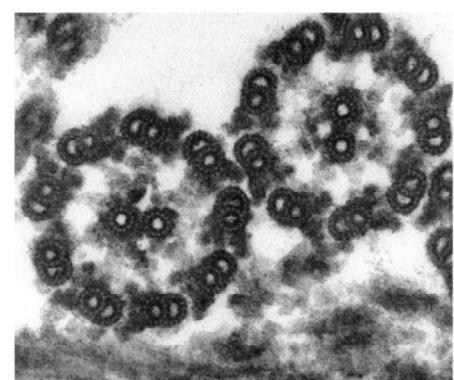
Existen **microscopios electrónicos de barrido** (MEB/ SEM en inglés) en los que los e⁻ se reflejan por la superficie de la muestra y rebotan, por lo que proporciona imágenes 3D de la superficie. En cambio, en los **microscopios electrónicos de transmisión** (MET/TEM en inglés) los e⁻ sí que atraviesan la muestra y se pueden distinguir detalles de los orgánulos y otras estructuras celulares. Las finas láminas que se utilizan en MET se obtienen con **ultramicrotomos** y la preparación de muestras es muy laboriosa.



MICROSCOPIO ÓPTICO



MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO



MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE TRANSMISIÓN

* En las imágenes se observa un alga unicelular con sus 2 flagelos, incluida la estructura del axonema 9+2.

→ Ejemplos de partes de la célula vistas con el microscopio electrónico de transmisión

1	2	3	4	5	6
A transmission electron micrograph of a chloroplast, showing its double membrane and internal thylakoid structures.	A transmission electron micrograph of the Golgi apparatus, showing a stack of flattened, membrane-bound sacs.	A transmission electron micrograph of rough endoplasmic reticulum, showing the network of membranes studded with ribosomes.	A transmission electron micrograph of a large, electron-dense vacuole.	A transmission electron micrograph of a cell nucleus, showing the nucleoplasm and a prominent, electron-dense nucleolus.	A transmission electron micrograph of a mitochondrion, showing its double membrane and internal cristae.
Cloroplasto	Ap. Golgi	RER	Vacuola	Núcleo	Mitochondria

5. EL NÚCLEO:

El **núcleo** está delimitado por una doble membrana con numerosos poros nucleares, denominada **envoltura nuclear**. El medio interno se llama **nucleoplasma** donde se encuentra la **cromatina** formada por ADN con histonas más o menos condensado y se distingue una estructura más densa (a veces hay varios), llamada **nucléolo**, que contiene gran cantidad de ARN, ya que es donde se sintetiza el ARNr.



Neutrófilo

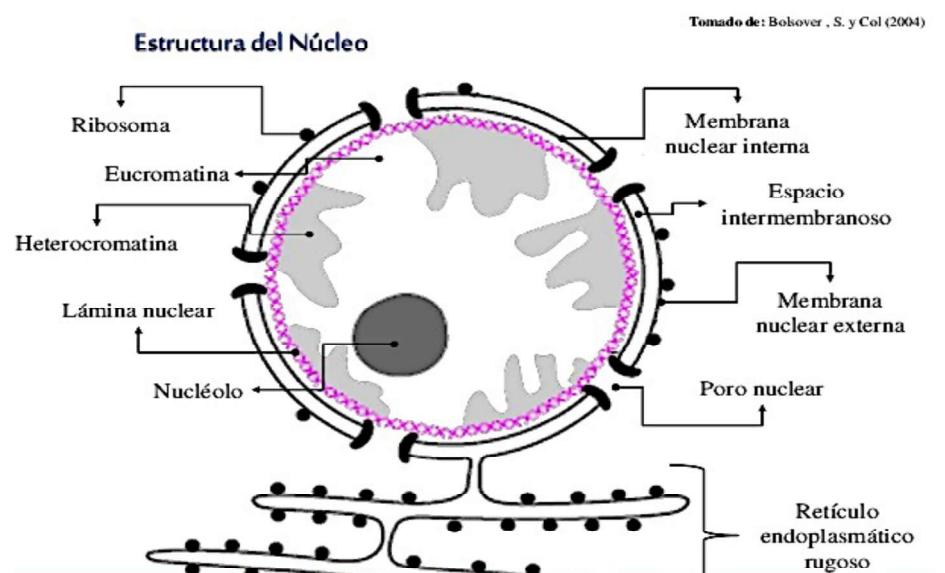
El núcleo como tal sólo es visible al microscopio durante la interfase (= fase del ciclo celular en el que la célula no se está dividiendo) y es al que llamamos **núcleo interfásico**. Normalmente, tiene forma esférica

y ocupa una posición central (en la célula vegetal, la vacuola lo desplaza a un lateral). A veces, aparecen núcleos con formas muy variadas como p.ej. los núcleos polilobulados de los granulocitos (son un tipo de leucocitos).

La relación entre el volumen del núcleo y del citoplasma es la llamada **relación nucleoplasmática (RNP)** que es constante para cada célula. Si el volumen celular aumenta demasiado el núcleo no puede controlar la célula, y entonces se inicia la división celular. Durante la división celular, en el **núcleo en división**, la envoltura nuclear se desintegra y la cromatina se condensa formando los cromosomas.

* Estructura de la envoltura nuclear:

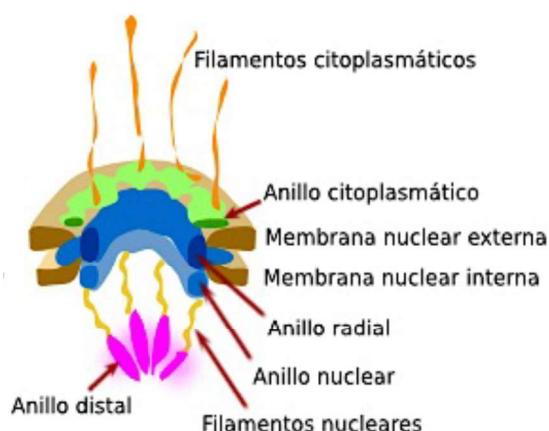
- **Membrana nuclear externa:** con ribosomas en su cara citoplasmática y que es continua con la membrana del RE (existe una conexión entre ellas, entre el espacio perinuclear y el lumen del RE).
- **Espacio intermembranoso o perinuclear:** entre las 2 membranas y parecido al citosol.
- **Membrana nuclear interna:** tiene la cara interna cubierta por una red de fibras proteicas donde se une la llamada lámina nuclear.
- **Lamina nuclear o fibrosa:** red de filamentos proteicos que sirve de anclaje a la cromatina, regula la organización y crecimiento de la envoltura nuclear, así como su desaparición al iniciarse la mitosis.



- **Poros nucleares:** lugares donde se fusionan las dos membranas. Cada poro es una estructura compleja, rodeado por una estructura en forma de anillo de ocho bloques de varias proteínas llamado **complejo del poro nuclear**, además hay proteínas transportadoras centrales y proteínas de anclaje a la membrana.

El espacio libre del poro es un canal central por el que, de forma pasiva, sólo pueden pasar pequeñas partículas. El tráfico de grandes moléculas es selectivo y requiere gasto energético:

- *Del interior del núcleo hacia citoplasma:* ARNm y las subunidades ya formadas de los ribosomas.
- *Del citoplasma pasan al núcleo:* nucleótidos, proteínas ribosómicas y enzimas implicadas en la duplicación/transcripción



5.1. Nucléolo

El **nucléolo** es una estructura casi esférica, densa y de contorno irregular (sin membrana), inmerso en el nucleoplasma, formado principalmente por ARNr y proteínas (también ADN). El nº de nucléolos varía, puede haber de uno a tres (incluso más). Durante la división del núcleo, el nucléolo desaparece.

En el nucléolo se distinguen dos regiones:

- **Zona fibrilar:** Está en el interior y se localiza alrededor de las fibras de cromatina donde se localizan los grupos de genes de ADN que codifican para el ARN_n (ARN nucleolar) y ARN_r (ARN ribosómico). Estos genes están en una parte del cromosoma llamada **región organizadora nucleolar (NOR)**.
- **Zona granular:** Está en la zona periférica y es donde las subunidades del ribosoma se están formando y madurando por separado (saldrán al citoplasma por un poro nuclear y, será fuera del núcleo, en el citosol, donde se unan ambas subunidades ribosómicas para acoplarse al ARN_m).

* Funciones del nucléolo:

Su función se relaciona con la construcción de ribosomas, pues en el nucléolo se sintetizan y procesan primero los ARN_n (ARN nucleolar), a partir de los cuales, por fragmentación se originarán los ARNr (ARN ribosómico) que darán lugar a las subunidades ribosómicas. Estas subunidades se unen ya en el citosol en el momento que se unen al ARN_m (ARN mensajero). Tras la traducción, vuelven a soltarse.

** Hay células determinadas que presentan nucléolos muy activos, p.ej. las células productoras de un gran nº de proteínas/enzimas como las pancreáticas. Esto se debe a que necesitan muchos ribosomas para sintetizar dichas proteínas y por tanto se necesita que el nucléolo sintetice sus componentes y los procese. También poseen nucléolos muy activos las células fagocíticas (=fagocitos), ya que, cuando se produce la fagocitosis, la célula necesita enzimas líticas para poder digerir los componentes fagocitados.*

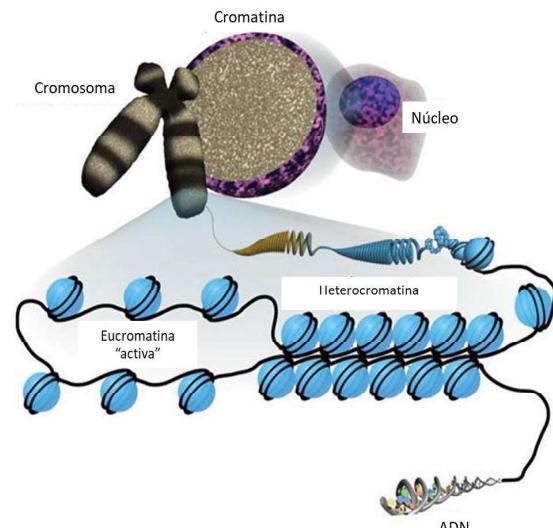
5.2. Nucleoplasma

Es el medio interno del núcleo, donde hay disueltos: iones, ARN, nucleótidos, proteínas...

5.3. Cromatina

En el nucleoplasma se hallan también las fibras de **cromatina**, es decir, los filamentos de ADN unidos a proteínas en diferentes grados de condensación.

**Recordad que el ADN se asocia a un octámero de histonas formando unos complejos denominados nucleosomas, que representaban las "perlas" del collar de perlas, cuyo hilo era el ADN espaciador. Cuando la H1 se unía al nucleosoma, la fibra se acortaba y compactaba, dando lugar a la forma compacta en la que se encuentra la mayoría de la eucromatina. Luego, seguía enrollándose helicoidalmente hasta formar un solenoide o fibra de 30 nm, con 6 nucleosomas/ vuelta). Hasta este grado de empaquetamiento, podemos hablar de cromatina. Ya en niveles superiores de empaquetamiento, las fibras de 30 nm se pliegan todavía más formando dominios en bucle, que se van compactando y enrollando sucesivamente durante la división del núcleo, hasta formar los cromosomas metafásicos.*



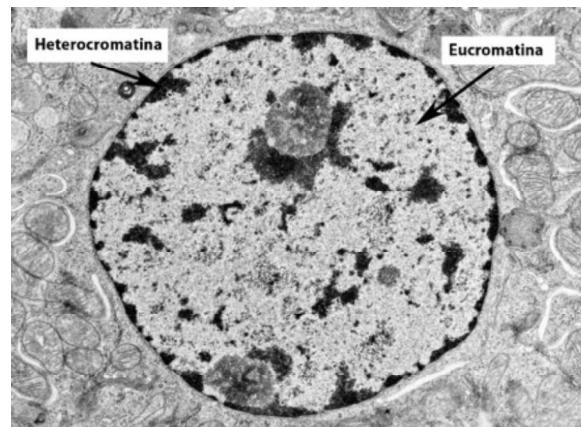
En el núcleo interfásico las fibras de cromatina pueden presentar distinto grado de condensación:

- **Eucromatina:** corresponde las zonas de cromatina activas, presenta un aspecto laxo, poco empaquetado y aparece como las zonas más claras del núcleo al microscopio electrónico de transmisión (MET). De

hecho, en la eucromatina el ADN está condensado como fibra nucleosómica, en la que un segmento de ADN bícatenario se enrolla alrededor de los octámeros de histonas (*dos de cada: H2A, H2B, H3, y H4*) formando nucleosomas que junto al ADN espaciador forman el “collar de perlas”. La eucromatina activa es el ADN que se está leyendo, por tanto, debe estar lo suficientemente distendido para permitir el acceso de las enzimas implicadas en la transcripción. En algunas zonas de eucromatina (las que no se están transcribiendo) esta fibra se enrolla sobre sí misma gracias a las histonas H1 (fibra condensada).

- **Heterocromatina:** se visualiza como las zonas más oscuras del núcleo en el MET, pues corresponde al ADN con mayor grado de empaquetamiento. Son zonas inactivas, en las que el ADN no se transcribe y por tanto están mucho más condensadas que en la eucromatina.

- La heterocromatina puede ser **facultativa** si puede volver a descondensarse en algún momento. En este caso, se inactiva de manera específica y varía de un tipo celular a otro, p.ej. en los hepatocitos, los genes específicos relacionados con la función neuronal no se expresarán y estarán inactivos. Otro ejemplo es el **corpúsculo de Barr**, una región muy condensada, que aparece en los núcleos de las células somáticas femeninas y es uno de los dos cromosomas X presentes en la mujer que se inactiva.



- La heterocromatina **constitutiva** es estructural, es decir está permanentemente inactiva y nunca se transcribe (normalmente se modifica p.ej. con grupos metilo -CH3), como p.ej. el ADN que formará los centrómeros cuando se condensen los cromosomas.

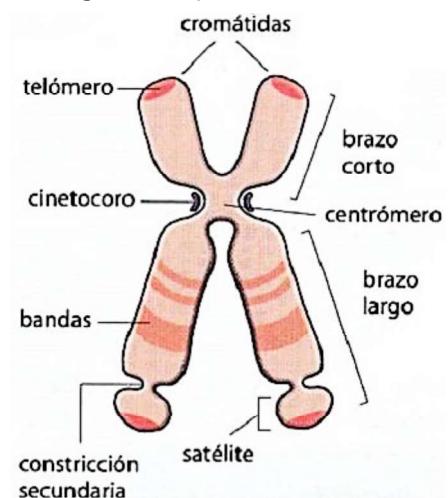
* Funciones de la cromatina:

La cromatina contiene la información biológica sobre la estructura y funcionamiento del organismo, así como la información genética necesaria para efectuar, a través de la transcripción, la síntesis de varios ARNr. En las células eucariotas adultas, la fibra de cromatina se duplica durante la fase S de la interfase, donde la S hace referencia a la síntesis de ADN.

5.4. Cromosomas

Tras la fase S, en la mitosis, concretamente en la profase, comienza la condensación del material genético hasta formar unas estructuras altamente organizadas: los **cromosomas**. Los cromosomas se hacen más visibles en la metafase y son útiles para asegurar el reparto equitativo de información genética entre las células hijas. En cada cromosoma se puede distinguir las siguientes partes:

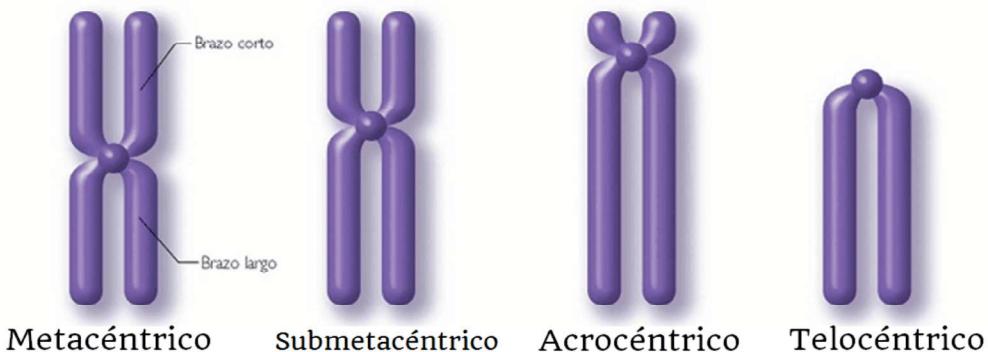
1. **Cromátida:** cada una de las mitades simétricas y genéticamente iguales de un cromosoma metafásico, formada cada una por el empaquetamiento de una fibra de cromatina.
2. **Centrómero:** estrechamiento o concreción primaria donde se unen las dos cromátidas hermanas, que las divide longitudinalmente en dos fragmentos o brazos.
3. **Brazos:** cada una de las porciones, en las que el centrómero divide al cromosoma o cromátida.
4. **Constricción secundaria:** estrechamiento cerca de su extremo que se encuentra en algunos cromosomas. En estas constricciones ^{2^{arias}} se distribuye la **región organizadora nucleolar (NOR)**.



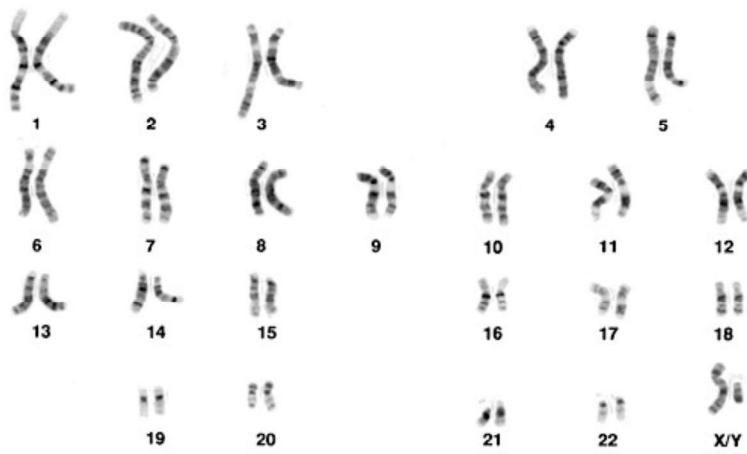
5. **Satélite**: pequeña porción de un brazo situada entre la concreción secundaria y el extremo del cromosoma. Normalmente, el ADN del satélite es NOR, formará parte del nucleolo.
6. **Cinetocoros**: discos proteicos que se sitúan a ambos lados del centrómero en cada cromátida. A ellos se enganchan los microtúbulos del huso acromático / mitótico.
7. **Telómeros**: extremos protectores del cromosoma. Corresponden a regiones de ADN no codificante que se van acortando a medida que la célula se va dividiendo, de modo que cuando el cromosoma pierde todo su telómero, la célula muere.
8. **Bandas**: segmentos del cromosoma que aparecen más oscuros, y que se tiñen con determinados colorantes. Cada banda contiene una serie de genes determinados.



Según la longitud de los brazos, se distinguen los siguientes tipos de cromosomas:



- ❖ **Metacéntricos**: el centrómero se encuentra en la mitad del cromosoma.
- ❖ **Submetacéntricos**: si la longitud de un brazo es algo mayor que el otro.
- ❖ **Acrocéntricos**: el centrómero se sitúa muy cerca de un extremo.
- ❖ **Telocéntricos**: el centrómero está situado en el extremo del cromosoma.



El cariotipo es el conjunto de cromosomas de cada especie ordenados en base a sus características físicas: tamaño, tipo, forma, etc.

Cada especie tiene un nº constante de cromosomas. Las células diploides ($2n$) poseen 2 juegos de cromosomas, uno aportado por cada progenitor, que se denominan **cromosomas homólogos**. Los cromosomas se dividen en autosomas y los heterocromosomas o

cromosomas sexuales. Los autosomas se designan con un número (ordenados por tamaño y tipo) y los cromosomas sexuales o heterocromosomas se denominan con las letras X e Y.

En la especie humana el cariotipo lo forman 23 cromosomas aportados por el padre y otros 23 por la madre, con un total de 46 cromosomas (44 autosomas + 2 cromosomas sexuales: XX / XY). Los gametos son **haploides** ($n=23$) y las células somáticas diploides ($2n=46$).