

# TEMA 6: ÁCIDOS NUCLEICOS

## 1. Concepto e importancia biológica.

## 2. Nucleótidos: Composición y estructura general. Enlace fosfodiéster. Funciones de los nucleótidos.

## 3. Tipos de ácidos nucleicos. Estructura, localización y funciones.

- Ácido desoxirribonucleico (ADN): Composición, localización y función. Estructura primaria y secundaria (doble hélice): complementariedad y antiparalelismo de las cadenas.

Empaquetamiento del ADN en eucariotas (cromatina y cromosomas). Conocimiento de los procesos de desnaturalización y renaturalización del ADN.

- Ácido ribonucleico (ARN): Composición y estructura general. Tipos de ARN (ARN mensajero, transferente y ribosómico): estructura, localización y función.

### ORIENTACIONES TEMA 6:

- Conocer el concepto de ácido nucleico.
- Valorar la importancia biológica de los ácidos nucleicos en el mantenimiento y transmisión de la información genética.
- Conocer los componentes de un nucleótido. Definición de nucleósidos y nucleótidos. Distinguir entre bases nitrogenadas púricas y pirimidínicas.
- Identificar en un esquema el enlace fosfodiéster y relacionarlo con los ácidos nucleicos.
- Reconocer la fórmula del ATP.
- Reconocer a los nucleótidos como moléculas de gran versatilidad funcional y describir las funciones más importantes: estructural, energética y coenzimática, ejemplificando cada una de ellas.
- Diferenciar el ADN del ARN en función de su composición química y de su estructura.
- Conocer la localización intracelular de los distintos tipos de ácidos nucleicos.
- Conocer las funciones biológicas del ADN relacionándolas con su estructura.
- Conocer las características estructurales, localización y funciones de los principales tipos de ARN (mensajero, ribosómico y transferente). Conocer la existencia de otros tipos de ARN (heteronuclear, etc.).
- *Reconocer los grados de empaquetamiento del ADN.*

## GENERALIDADES Y COMPOSICION

Son compuestos que tienen carácter ácido, se encontraron por primera vez en el núcleo de las células eucariotas de ahí su nombre. Contienen siempre en su composición **C, H, O, N y P**. Son macromoléculas o polímeros de gran complejidad y elevado peso molecular, que están formados por la unión de unas unidades o monómeros denominadas nucleótidos, por eso podemos definirlos como **polinucleótidos**.

Los **nucleótidos** están formados por 3 tipos de compuestos: una **pentosa**, una **base nitrogenada** y un grupo **fosfato**:

- **Pentosa**: Las pentosas que forman los ácidos nucleicos son **aldopentosas**, pueden ser la **β-D-ribosa** que aparece en el ARN y los nucleótidos que forman se llaman **ribonucleótidos**; o puede ser la **β-D-desoxirribosa** que aparece en el ADN y forman **desoxirribonucleótidos**

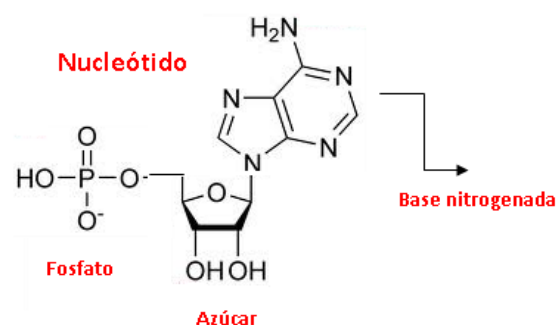
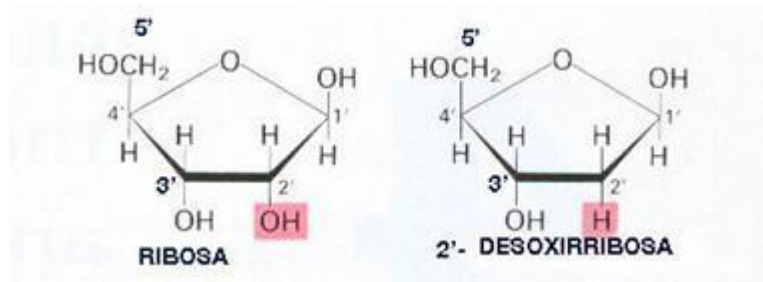


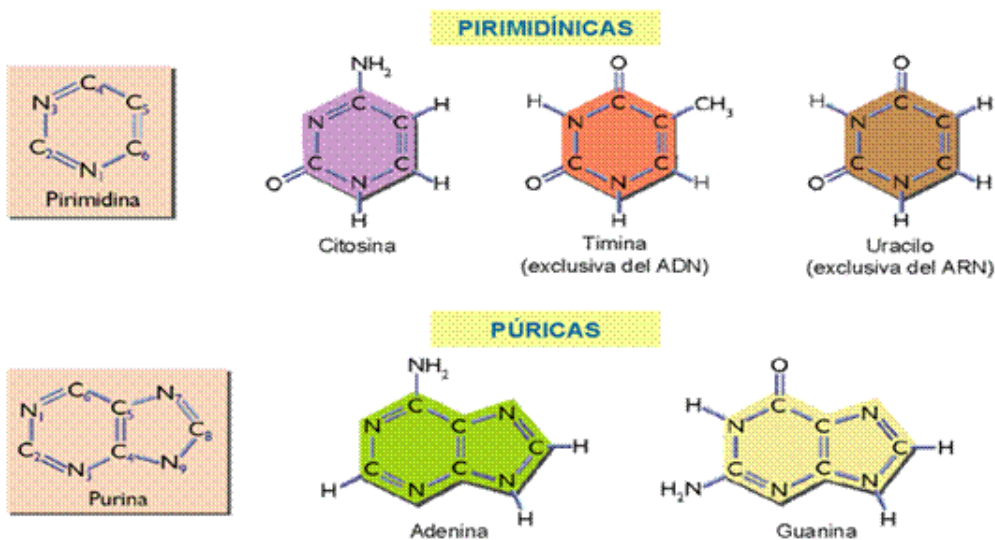
Figura.2. Composición de un nucleótido.



- **Bases nitrogenadas:** Tienen una o dos estructuras cíclicas que contienen átomos de carbono y nitrógeno y tienen carácter básico. Pueden ser de dos tipos:

- **Bases púricas:** Derivan de la purina por lo que presentan una estructura formada por dos ciclos. Las más importantes son: **adenina (A)** y **guanina (G)**.
- **Bases pirimidínicas:** Derivan de la pirimidina por lo que presentan un solo ciclo. Las más importantes son: **citocina (C)**, **timina (T)** y **uracilo (U)**.

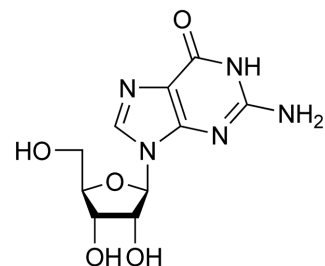
El ADN presenta todas las bases nitrogenadas menos el uracilo y el ARN presenta todas las bases menos la timina. Para evitar confusiones a los átomos de las bases nitrogenadas se les numeran con la serie 1, 2, 3, 4,... y los de las pentosas con la serie 1', 2', 3',....



- **Grupo fosfato** o ácido ortofosfórico ( $H_3PO_4$ ), que se encuentra **ionizado** a pH fisiológico. Se unen al Carbono 5' de la pentosa del nucleósido y da lugar a un **nucleótido completo**.

### **Concepto de nucleósido**

Son compuestos que se forman por la unión de una **pentosa** y una **base nitrogenada**. El enlace mediante el cual se unen se denomina **N-glucosídico**, se forma entre el C-1' de la pentosa y un nitrógeno de la base que será el N-1 si esta es pirimidínic, o el N-9 si es púrica. Al formarse este enlace **se desprende una molécula de agua**, que se forma con el OH del C-1' de la pentosa y un hidrógeno del N de la base.

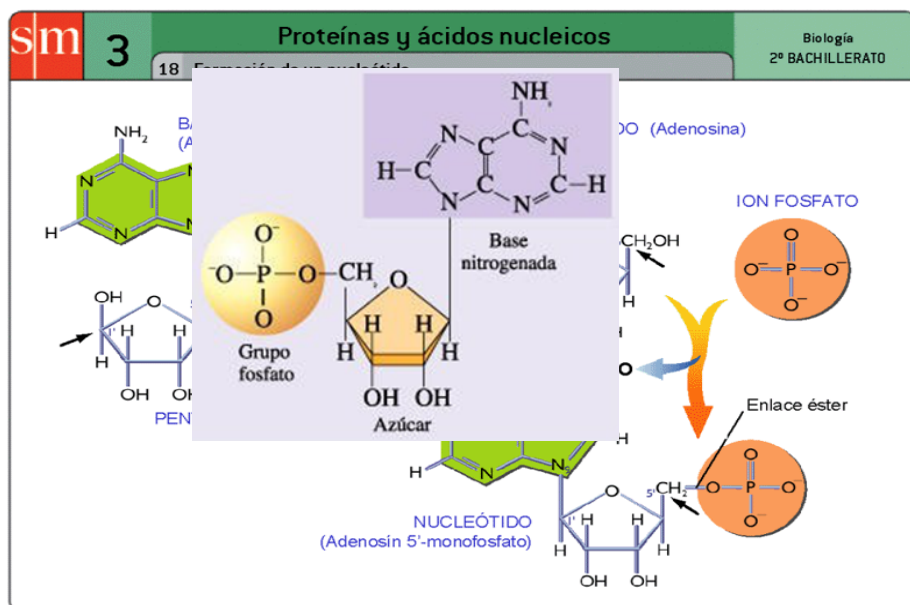


Hay dos tipos de nucleósidos: los **ribonucleósidos** y los **desoxirribonucleósidos**, según su pentosa sea ribosa o desoxirribosa, respectivamente.

## Concepto de nucleótido

Son compuestos que se forman al unirse una molécula de **ácido fosfórico** con la pentosa de un **nucleósido**. El enlace es un **enlace éster**, se produce al esterificarse un OH del fosfórico con un OH libre del C-5' de la pentosa, en su formación **se libera una molécula de agua**.

Los nucleótidos son por consiguiente ésteres fosfóricos de nucleósidos o nucleósidos fosforilados normalmente en posición 5'. Tienen carácter **ácido** debido al grupo fosfato.

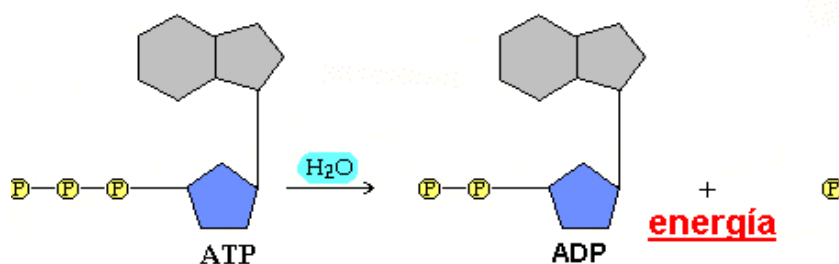


No todos los nucleótidos forman ácidos nucleicos, sino que se encuentran libres en las células y constituyen compuestos de gran importancia biológica, desempeñando diferentes funciones en el metabolismo.

Dos nucleótidos muy conocidos y que no forman ácidos nucleicos son el **AMP**, **ADP** y el **ATP**. El ADP es adenosín difosfato y el ATP es adenosin trifosfato.

Los enlaces de alta energía entre sus fosfatos, llamados enlaces **pirofosfato**, (o **fosfoanhídrido**), **almacenan energía** producida en procesos que liberan energía como el catabolismo **y la liberan** en procesos donde se necesita energía como el anabolismo.

### HIDRÓLISIS DEL ATP



Para formar un enlace fosfoanhídrido se necesitan unos 7,3 Kcal/mol; por lo que al romperse el enlace se libera esa misma energía.

Otros nucleótidos que no forman ácidos nucleicos son por ejemplo los que actúan como **coenzimas**, como el **NAD** (Nicotinamín - adenín - dinucleótido), **NADP** (Nicotinamín - adenín - dinucleótido - fosfato), **FMN** (Flavín - mono - nucleótido), **FAD** (Flavín - adenín - dinucleótido)...

- Coenzimas que intervienen en reacciones redox (transportadores de e-).

    Piridín nucleótidos:

- **NAD** (forma oxidada) ⇌ NADH + H<sup>\*</sup> (forma reducida)
- **NADP** (forma oxidada) ⇌ NADPH + H<sup>\*</sup> (forma reducida)

    Flavín nucleótidos:

- **FMN** (oxidado)→FMNH<sub>2</sub> (reducida)
  - **FAD** (oxidado) FADH, (reducida)
- Coenzimas transportadores de grupos. Ej: **AcetilCoA**. Transporta grupos acetilo y grupos acilo.
  - Mensajeros químicos: **AMP cíclico. (AMPc)**: Interviene como mediador en procesos hormonales.

## Funciones biológicas de los nucleótidos:

<b>Estructural</b>	Forman parte de ácidos nucleicos, cromosomas y ribosomas donde se almacena y transmite la información genética.
<b>Energética</b>	Participan en reacciones de transferencia de energía que se acumula en los enlaces fosfato y su hidrólisis impulsa una gran variedad de reacciones químicas. El ejemplo por excelencia es el ATP. Otros ejemplos son: GTP, UTP, CTP.
<b>Coenzimática</b>	Intervienen permitiendo determinadas reacciones enzimáticas. Los principales son: FMN, FAD, NAD, NADP que actúan como coenzimas de las hidrogenasas (catalizan reacciones de oxidación-reducción) y la Coenzima A que actúa como transportador de grupos acilos.
<b>Mensajeros químicos intracelulares</b>	El AMP-cíclico (AMPc) es un importante segundo mensajero en la respuesta de las células a diversas hormonas (primeros mensajeros) que desencadenan la respuesta celular.

## ADN: Composición, localización y función

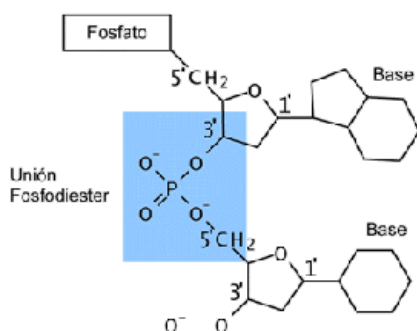
Está formado por la unión de muchísimos **desoxirribonucleótidos** de **A, G, C y T** (uracilo no).

El ADN al igual que las proteínas posee diferentes niveles de complejidad estructural, hablándose de **estructura primaria** cuando es una sola cadena polinucleótida, **estructura secundaria** cuando son dos cadenas polinucleótidas formando una doble hélice, y **estructura terciaria (cromatina)** cuando a la doble hélice se le unen proteínas (histonas) que lo compacta, organiza y regula la expresión génica.

**Localización** (ver página 9): en el **núcleo de eucariotas** el ADN es **lineal** y está asociado a proteínas (histonas) formando la cromatina. También se encuentra en el **citoplasma de procariontes**, en la **matriz de mitocondrias** y en el **estroma de cloroplastos** (en los tres casos el ADN es **circular** y sin histonas).

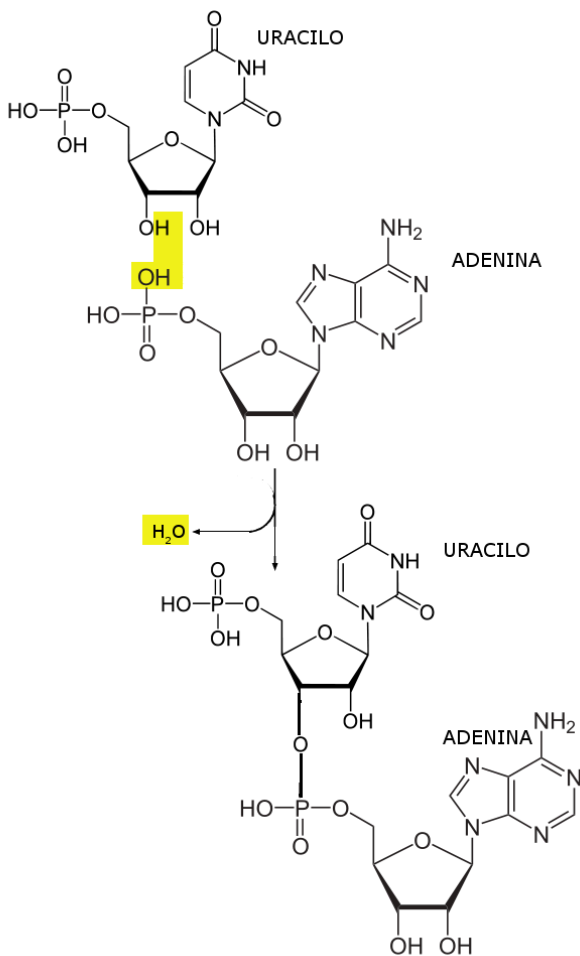
Las **funciones biológicas del ADN** incluyen el almacenamiento de información (genes y genoma), la codificación de proteínas (transcripción y traducción) necesarias para el funcionamiento del organismo y su autoduplicación (replicación del ADN) para asegurar la transmisión de la información a las células hijas durante la división celular, es decir, **las funciones del ADN son almacenar, codificar y transmitir la información genética**.

### Estructura primaria del ADN



Es la secuencia de **desoxirribonucleótidos** unidos por **enlace fosfodiéster**, la unión se produce mediante un enlace éster que se forma, entre un OH del grupo fosfato situado en el carbono 5' de un nucleótido y el OH del C-3' del siguiente nucleótido, por lo tanto

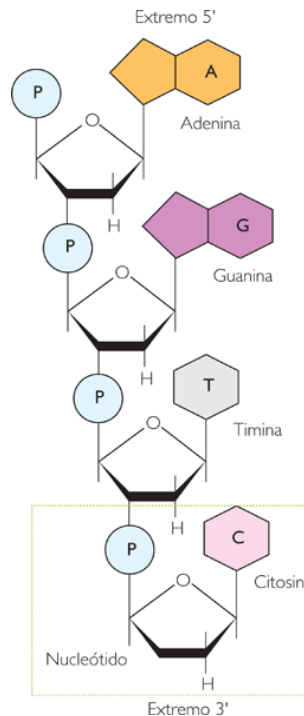
cada molécula de fosfórico forma dos enlaces éster: uno con el C-5' de la pentosa de un nucleótido y el otro con el C-3' de la pentosa del siguiente nucleótido, a este enlace por eso se le denomina enlace fosfodiéster.



En estas cadenas de nucleótidos siempre tenemos un extremo que posee el grupo fosfato libre unido al C-5' y se llama **extremo 5'** y otro extremo que posee el OH del C-3' libre y se denomina **extremo 3'**.

Las cadenas polinucleótidas siempre se unen añadiendo nucleótidos en las posiciones 3', por lo que se forman siempre en el sentido 5' → 3', porque solo se pueden unir nucleótidos en la posición 3' libre.

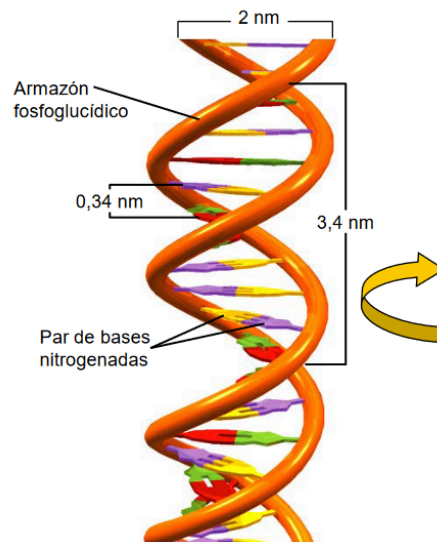
Las cadenas de nucleótidos se diferencian en la **secuencia de bases** que indican el orden en que están unidos, también se pueden diferenciar por el **tamaño** y la **composición de bases**.



La estructura secundaria del ADN fue establecida en 1953 por **Watson y Crick** (obtuvieron un premio nobel), este modelo de la estructura del ADN permitía comprender el funcionamiento del ADN en la transmisión de la información genética.

Pero este modelo no hubiera sido posible sin los trabajos de **Erwin Chargaff** que descubrió en cualquier ADN la cantidad de bases púricas y pirimidínicas era la misma (nº Adeninas = nº Timinas y nº Citosinas = nº Guaninas).

### Estructura secundaria del ADN



- Es una **doble hélice** de 2 nm de diámetro.
- Las **bases nitrogenadas** se encuentran en el interior y se unen por **puentes de hidrógeno**.
- Las parejas de bases se encuentran unidas a un armazón formado por las pentosas y los grupos fosfato.
- El enrollamiento es **dextrógiro** y **plectonémico**.
- Cada pareja de nucleótidos está situada a 0,34 nm de la siguiente y cada vuelta de doble hélice contiene 10 pares de nucleótidos.
- Las dos cadenas son **antiparalelas** y **complementarias**.

$$\text{N}^\circ \text{ de adeninas} = \text{N}^\circ \text{ de timinas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de citosinas} = \text{N}^\circ \text{ de guaninas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ T} + \text{C} = \text{N}^\circ \text{ A} + \text{G}$$

Por otra parte, también fueron definitivos los estudios de **Rosalind Franklin** que utilizando técnicas de difracción de rayos X descubrió que la molécula de ADN debía ser helicoidal e incluso hizo la primera fotografía indirecta del ADN.

El ADN es una **doble hélice** de 2 nm de diámetro formada por dos cadenas de desoxirribonucleótidos enrolladas alrededor de un eje imaginario. Las **bases nitrogenadas se orientan hacia el interior**, mientras que las desoxirribosas y los grupos fosfatos forman el

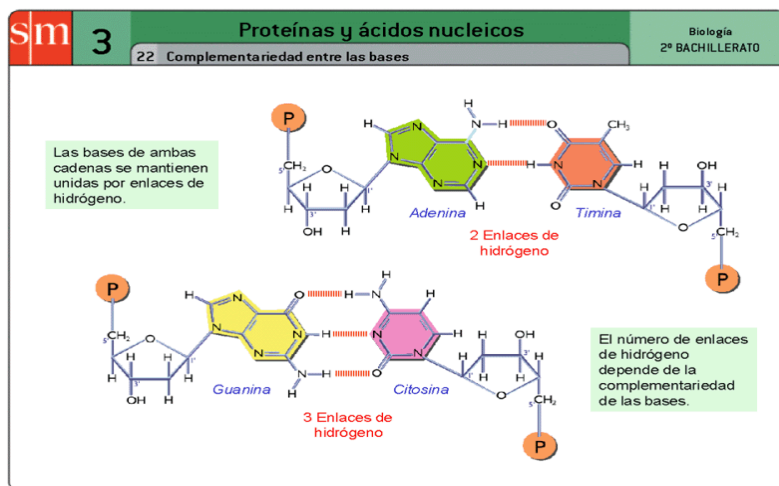
esqueleto externo. Los planos de los anillos de las bases nitrogenadas son paralelos entre sí y perpendiculares al eje de la doble hélice. Esta estructura recuerda a una escalera de caracol en la que los peldaños son las bases nitrogenadas y los pasamanos las cadenas formadas por la pentosa y el grupo fosfato.

El enrollamiento de la doble hélice es **dextrógiro** (gira hacia la derecha) y **plectonémico**, es decir, que para que las dos cadenas se separen es necesario que se desenrollen.

Cada pareja de nucleótidos está separada de la siguiente 0,34 nm y **cada vuelta de la doble hélice está formada por 10 pares de nucleótidos**, esto supone una longitud de 3,4 nm por vuelta de hélice.

Las dos cadenas de desoxirribonucleótidos son **antiparalelas**, es decir, están orientadas en sentido opuesto, una tiene sentido 5' → 3' y la otra 3' → 5' y son **complementarias**, ya que existe una correspondencia entre las bases nitrogenadas, ya que siempre que en una cadena haya una T en la otra habrá una A, que es su complementaria, lo mismo ocurre con la G que se enfrenta siempre con la C.

La complementariedad entre las bases se manifiesta mediante **enlaces de H**, así entre la **A y T** se establecen **dos enlaces** por puente de H y entre las bases **G y C** tres **enlaces** de H. El enfrentamiento es siempre entre una base púrica (anillo más grande) y una pirimidínica (anillo más pequeño) de esta forma la molécula tiene un grosor uniforme.



### Estructura terciaria del ADN

La doble hélice del **ADN se asocia a proteínas básicas llamadas histonas formando la cromatina**, esto permite **empaquetar** el ADN para que quepa en el núcleo (todo el ADN desenrollado mide más de 2 metros, mientras que el núcleo mide unas 10 micras).

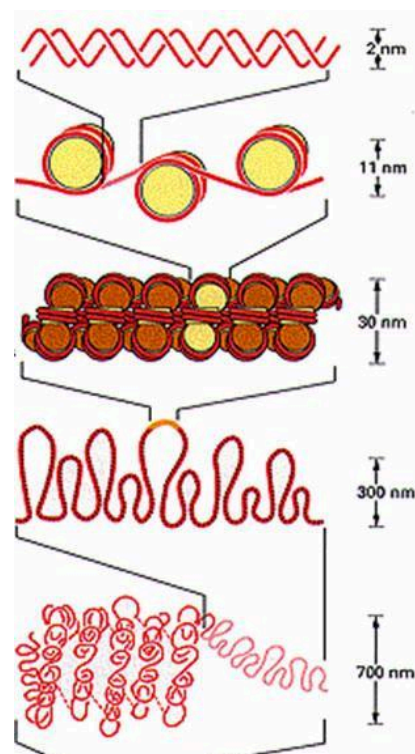
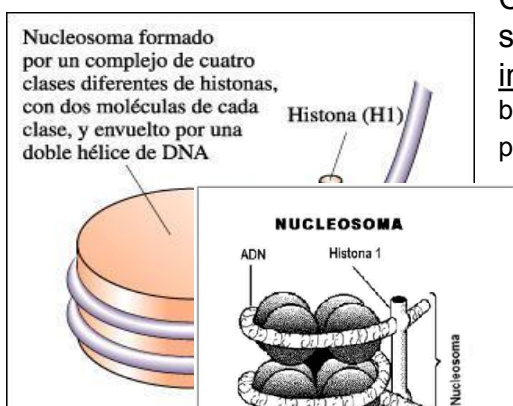
En la cromatina también aparecen proteínas no histónicas que suelen corresponder a enzimas implicadas en la replicación, la transcripción y la regulación del ADN.

Además de **compactar y organizar el ADN**, las **histonas** también tienen la función de **regular la expresión génica**.

Hay **cinco tipos de histonas: H2A, H2B, H3, H4 y H1**.

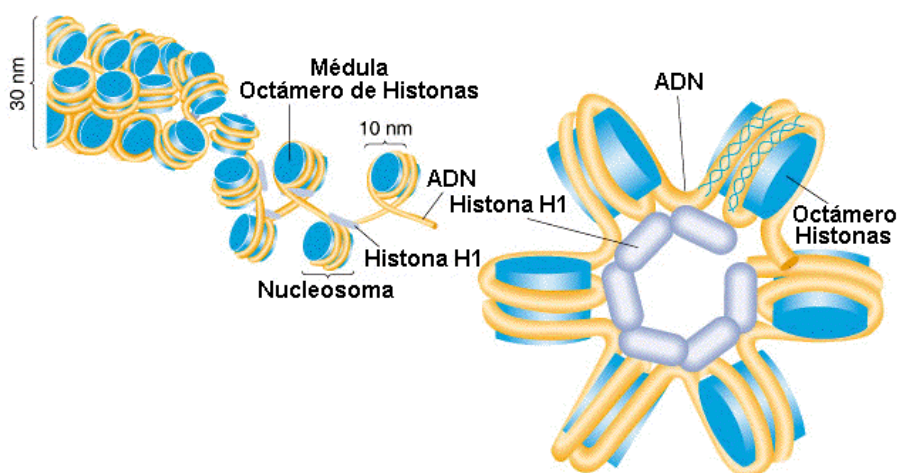
Las cuatro primeras forman el **nucleosoma**, que es el primer nivel de empaquetamiento del ADN, formado por un **octámero de histonas** (dos H2A, dos H2B, dos H3 y dos H4) **alrededor del cual se enrolla el ADN** (dos vueltas de doble hélice de ADN por octámero, que equivalen a 146 pares de bases).

Cada nucleosoma está unido al siguiente por **ADN espaciador o internucleosomal** formado por 54 pares de bases, en total, cada nucleosoma contiene 200 pares de bases (146 + 54).



La estructura que forma tiene el aspecto de un “collar de cuentas” donde cada “cuenta” equivale a un nucleosoma, y entre cada nucleosoma hay un fragmento de ADN libre que correspondería al “hilo del collar”. Este ADN libre recibe el nombre de ADN internucleosómico o ADN espaciador. Este primer nivel de empaquetamiento o “collar de cuentas” recibe el nombre de fibra elemental de cromatina, **fibra nucleosómica** o unidad elemental de cromatina y tiene **10 nm de grosor**, que es el grosor de los nucleosomas, y por tanto, de la fibra.

Las **fibras de cromatina de 30 nm** es el siguiente grado de compactación o plegamiento, donde la fibra de cromatina de 10 nm se enrolla sobre sí misma en hélice, gracias a la **histona H1** que se une por una parte a los nucleosomas y por otra al ADN espaciador, provocando un acercamiento de los nucleosomas y **la cadena de nucleosomas se enrolla helicoidalmente**, dando el aspecto de un “solenoides” o fibra cromatínica de 30 nm, que **contiene 6 nucleosomas por cada vuelta de hélice**.

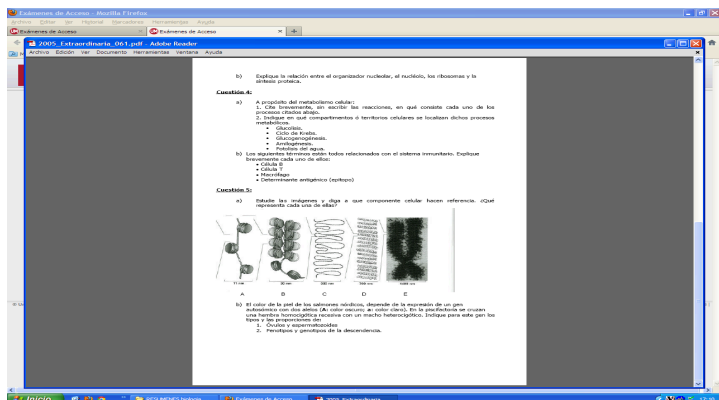


Las histonas H1 se localizan en la cara interna del solenoide uniendo todos los nucleosomas que se orientan hacia el exterior.

También se pueden encontrar grados superiores de empaquetamiento. Cuando la célula se va a dividir toda la cromatina sufre plegamientos de la fibra cromatínica de 30 nm, dando **estructuras superenrolladas** de mayor grosor (300nm, 700 nm...) hasta que se produce el mayor grado de empaquetamiento formando los **cromosomas**.

Así, en el núcleo interfásico (cuando la célula no se divide) aparecen las fibras nucleosómicas y cromatínicas y en el núcleo en división aparecen los cromosomas, que adquieren mayor compactación en la metafase (cuando ya ha desaparecido todo el núcleo).

### Ejercicio (PAU)



- a) ¿Qué representa el conjunto de las figuras?
- b) ¿Qué representan las figuras indicadas con las letras A, B y E?
- c) ¿Cuál o cuáles de esas estructuras se pueden observar al microscopio óptico y cuándo se observan?
- d) ¿Cuál es la finalidad de que la estructura representada en A acabe dando lugar a la estructura representada en E?

### Morfología del cromosoma metafásico

El cromosoma metafásico es el que está **más condensado** y se distingue mejor. Se distinguen las siguientes partes:

- **Cromátidas**: son cada una de las partes simétricas y genéticamente idénticas del cromosoma, ya que son el resultado de la duplicación del ADN que se realiza antes de comenzar la división celular.

- **Centrómero o constricción primaria**: es una zona delgada o estrechamiento que **une entre sí las cromátidas** y divide al cromosoma en dos **brazos** que según la posición del centrómero nos dará determinadas longitudes de los brazos que nos permite clasificar los cromosomas en 4 tipos: metacéntrico, submetacéntrico, acrocéntrico y telocéntrico.

- **Constricciones secundarias**: son estrechamientos distintos al centrómero. Son **zonas asociadas a los nucleolos** (formarán los nucleolos cuando termine la división celular y vuelva a aparecer el núcleo). Se conocen como **regiones de organización nucleolar**. (NOR)

- **Telómeros**: son los **extremos finales del cromosoma**. **Protegen al cromosoma al evitar que se pierda información en cada ciclo de replicación**, ya que cada vez que se duplica el ADN, se pierde un fragmento de telómero.

El ADN que forma los telómeros no codifica información para fabricar nada y contiene una secuencia de ADN que se repite muchas veces (en el caso de los vertebrados la secuencia es TTAGGG, que se repite numerosas veces). La misión de los telómeros no es transportar información genética sino **estabilizar la estructura de los cromosomas**.

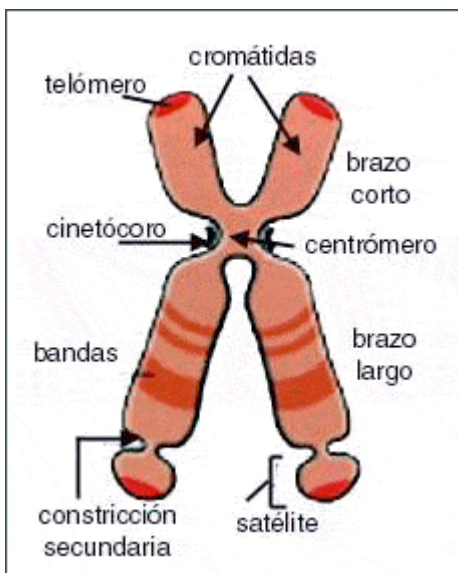
Tras muchas divisiones, la pérdida total del telómero produciría la muerte celular al perderse otros fragmentos de ADN más importantes, por lo que el telómero limita el número de veces que se puede dividir una célula.

Los telómeros **están relacionados con el envejecimiento celular** y **las células cancerosas se dividen un número ilimitado de veces porque tienen la enzima telomerasa que evita la pérdida de fragmentos de telómero en cada replicación**.

- **Cinetocoros**: a cada lado del centrómero hay una serie de **proteínas** que forman el cinetocoro que **es donde se insertan los microtúbulos del huso acromático** que son los responsables de la separación controlada de las cromátidas de cada cromosoma durante la división celular.

- **Bandas**: utilizando diversas técnicas de tinción aparecen las bandas que son **segmentos que se colorean con diferente intensidad** y sirven para distinguir los cromosomas homólogos entre otros cromosomas de similar forma y tamaño.

- **Satélites**: cuando una **constricción secundaria se sitúa cerca de los telómeros** dejando una zona corta más o menos redondeada se llama satélite.



## Tipos de cromosomas según la posición del centrómero



Según la posición del centrómero, los cromosomas de eucariontes se clasifican en:

- **Metacéntricos**: el centrómero se localiza a mitad del cromosoma (posición medial) y los dos **brazos presentan igual longitud**. Cuando se separan las cromátidas durante la anafase, adquieren forma de V.

- **Submetacéntricos**: el centrómero ocupa una posición submedial, por lo que **uno de los**

brazos del cromosoma **presenta un tamaño ligeramente superior al otro**. Cuando se separan las cromátidas durante la anafase, adquieren forma de L.

- **Acrocéntrico**: el centrómero ocupa una posición subterminal, por lo **que los brazos son muy desiguales en longitud** (en comparación un brazo es muy corto y el otro muy largo).

- **Telocéntrico**: sólo **se aprecia un brazo** del cromosoma al estar el **centrómero en el extremo** (este tipo de cromosomas no se encuentran en el cariotipo humano).

### Dotación cromosómica (número de cromosomas) (Leer pero no estudiar)

El número de cromosomas en todas las células de un mismo organismo es el mismo (humanos 46 excepto en gametos 23) y la información genética también, excepto en las células reproductoras o gametos (contienen la mitad de cromosomas).

La mayoría de los animales y vegetales son **diploides (2n)**, es decir, tienen en sus células dos juegos de cromosomas, uno heredado del progenitor masculino (padre) y otro heredado del progenitor femenino (madre). Estas parejas de cromosomas se llaman **cromosomas homólogos**, tienen **la misma forma y llevan la información genética para los mismos caracteres**, es decir, presentan los **mismos tipos de genes situados en los mismos lugares** a lo largo del cromosoma (tales lugares se llaman **locus o loci** en plural).

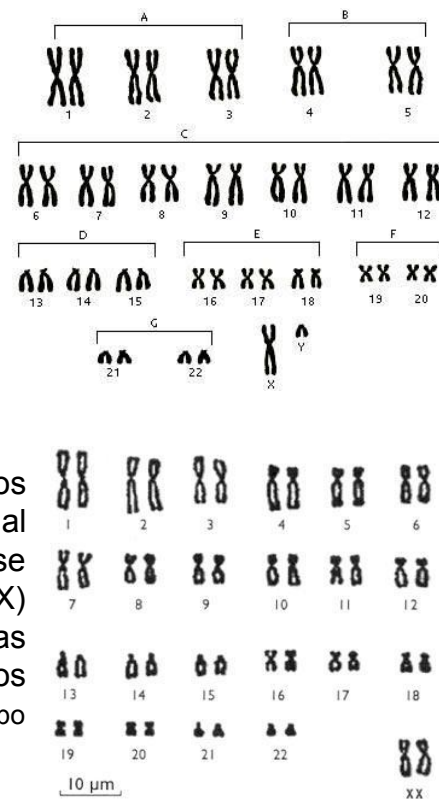
Aunque tengan los mismos genes no tienen por qué tener la misma información genética ya que pueden presentar diferentes **alelos** (variaciones posibles de un mismo gen).

Por ejemplo, en una pareja de homólogos, si uno lleva el gen para la forma del pelo, el otro lleva también el gen para la forma del pelo, pero no tiene porque ser la misma información genética, pues un cromosoma puede llevar la información para la forma del pelo liso y el otro cromosoma puede llevar la información para la forma del pelo rizado (mismo gen pero distintos alelos).

Las células reproductoras o gametos al tener un solo juego de cromosomas son **haploides (n)**. En la fecundación al unirse los gametos haploides se forma un individuo diploide. También existen organismos en los que todas sus células son haploides y organismos que tienen más de dos juegos de cromosomas: a los que tienen 3 juegos de cromosomas se llaman triploides, a los que tienen 4 tetraploides y a los que tienen muchos poliploides. Se representan n, 2n, 3n, 4n ...

El **conjunto de todos los cromosomas de una célula** se llama **cariotipo**, en él se distinguen 2 tipos de cromosomas: los **sexuales** o gonosomas y los **autosomas** o cromosomas somáticos.

Los sexuales determinan el sexo del individuo, en la especie humana los cromosomas sexuales se llaman X e Y, siendo el Y de menor tamaño, al ser diferentes no son cromosomas homólogos llamándose heterocromosomas. Si el individuo tiene los dos cromosomas X (XX) tendrá sexo femenino y si tiene X e Y (XY) tendrá sexo masculino. Las parejas de cromosomas somáticos (o autosomas), a diferencia de los sexuales si son homólogos. Fíjate en las imágenes la diferencia entre el cariotipo de un hombre y de una mujer.



### Localización del ADN

En **eucariotas**, el ADN es **lineal** y **bicatenario** y se encuentra en el núcleo asociado a proteínas llamadas histonas, formando la llamada cromatina; en **procariotas** el ADN se encuentra libre en el citoplasma y es **circular** y **bicatenario**, se llama cromosoma bacteriano. Además de este cromosoma bacteriano principal, es frecuente encontrar otros fragmentos de ADN de menor tamaño llamados **plásmidos**. En **mitocondrias** (en la matriz) y **cloroplastos** (en el estroma) encontramos ADN similar al de los procariotas (**circular** y **bicatenario**), aunque de menor tamaño y podemos encontrar varias copias.

En **virus** con ADN se pueden encontrar **virus con ADN circular o lineal, bicatenario o monocatenario** (todas las posibilidades según virus).

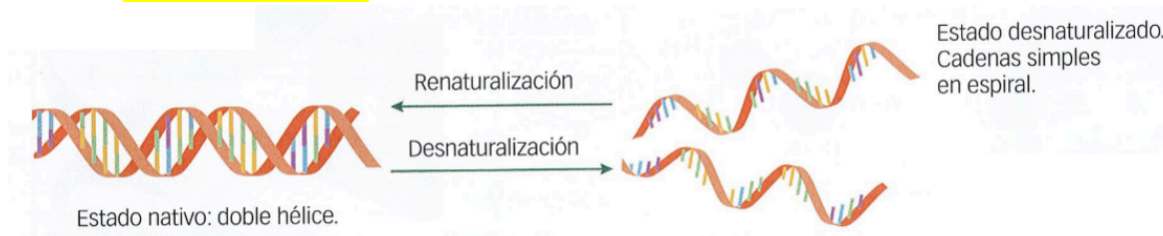
## **Desnaturalización y renaturalización del ADN**

La doble hélice del ADN es muy estable en condiciones normales debido a los numerosos **puentes de hidrógeno** que unen entre sí a las dos cadenas. Ahora bien, si se **calienta**, o se somete a **cambios de pH** o a cambios en las **condiciones iónicas** del medio, los puentes de hidrógeno se rompen y las dos cadenas se separan, a este proceso se le denomina **desnaturalización**.

La desnaturalización, no afecta a la estructura primaria del ADN, ya que los enlaces fosfodiéster que unen unos nucleótidos con otros en cada hebra, no se ven afectados.

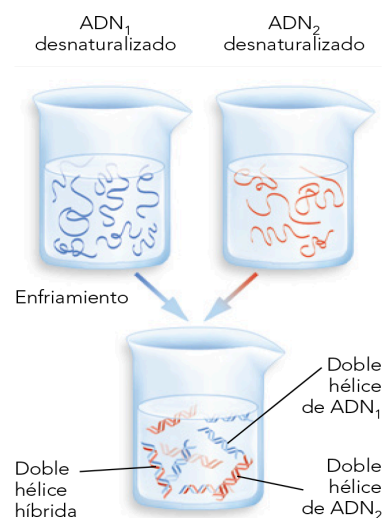
Se llama temperatura de fusión a aquella  $T^a$  en la que el 50% de la doble hélice esta separada. Su valor depende de la composición de bases del ADN. Las moléculas de ADN ricas en pares C-G tienen una  $T^a$  de fusión más elevada que las que son ricas en pares de A-T debido a que hay más puentes de hidrógeno.

El proceso de desnaturalización es **reversible**, es decir, si se recuperan las condiciones iniciales **las dos cadenas se vuelven a unir restableciéndose la doble hélice** a este proceso se le llama **renaturalización**.



La renaturalización permite que se produzca la **hibridación** (no EBAU), es decir permite que se puedan unir dos hebras de distinta procedencia y formar una molécula híbrida de ADN, siempre que entre ambas hebras exista una secuencia complementaria. Cuanto más relacionados están los ADN mayor porcentaje de hibridación se producirá.

Entre individuos de la misma especie habrá más porcentaje de hibridación cuando los individuos están emparentados. Entre individuos de distinta especie la hibridación será mayor cuanto más relacionados evolutivamente estén. **La hibridación se utiliza** con distintas finalidades por ejemplo **estudios de parentesco evolutivo** entre diferentes especies, **detectar enfermedades genéticas** o **investigación criminal**.



## **ARN: Composición, localización y estructura general**

Son macromoléculas formadas por **ribonucleótidos** (su pentosa es la ribosa) de **adenina, guanina, citosina y uracilo** (nunca timina), que se unen mediante enlaces fosfodiéster, de la misma manera que se unen los nucleótidos de ADN, es decir, en la dirección 5' → 3'. En algunos ARN aparecen otras bases diferentes en menor proporción, que suelen derivar de las primeras, como la metilguanina, metilcitosina etc.

El ARN está formado por una cadena de ribonucleótidos (excepto en algunos virus en los que es bicatenario), por lo que es **monocatenario** a diferencia del ADN que es bicatenario. El ARN a pesar de ser monocatenario **puede tener zonas** (en algunas tipos de ARN) **en que sus bases sean complementarias**, formando en esas zonas una estructura secundaria de doble hélice llamada **horquilla** y dejando zonas intermedias no complementarias llamadas **bucles**.

Los ARN de eucariotas se sintetizan en el núcleo y posteriormente van al citoplasma donde ejercen su función, mientras que en procariontes siempre se localizan en el citoplasma que es donde se sintetizan al carecer los procariontes de núcleo.

¿Es en todos los seres vivos siempre el ADN bicatenario y es siempre el ARN monocatenario? Razona la respuesta.

## TIPOS DE ARN

Hay 3 tipos principales de ARN: el mensajero (**ARNm**), el ribosómico (**ARNr**) y el de transferencia (**ARNt**).

### ARNm: localización, función y estructura

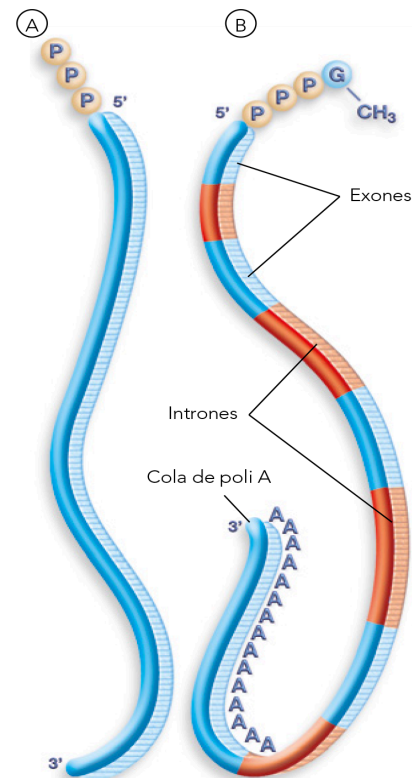
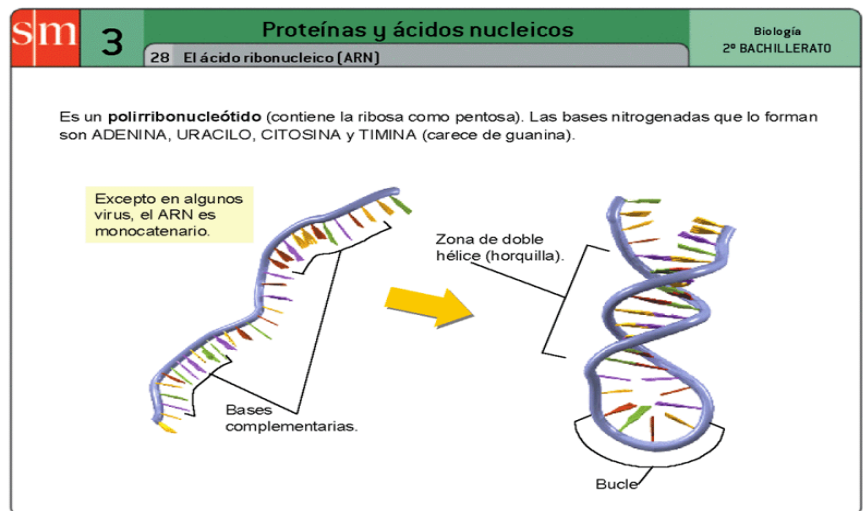
Es el menos abundante (5%) y su tamaño es variable, **su función es copiar la información genética del ADN (transcripción)** y una vez copiada sale del núcleo a través de los poros de la membrana nuclear y lleva dicha información hasta los ribosomas del citoplasma para que se sinteticen las proteínas, por eso se llama mensajero. Cada grupo de **3 nucleótidos del ARNm** se denomina **codón** y **codifica un aminoácido**.

Aunque los ARNm de procariontes y eucariotas son monocatenarios de forma filamentososa (no forma horquillas ni bucles), hay diferencias entre ellos:

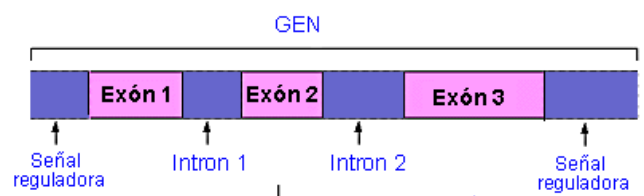
- En **procariontes**, el ARNm se denomina **policistrónico** ya que **contiene información para la síntesis de varias proteínas distintas**.

Posee en el extremo 5', tres grupos fosfato. Carece de caperuza y de cola poli-A, igualmente no presenta intrones por ello no necesita periodo de maduración (comparar más adelante).

- En **eucariotas**, el ARNm se denomina **monocistrónico**, debido a que **lleva información para sintetizar una única proteína determinada**. Este ARNm en el **extremo 5'** posee además de los 3 grupos fosfato un nucleótido de guanina metilado formando la llamada "**caperuza**" y en el **extremo 3'** presenta una "cola" formada por un fragmento de unos 200 nucleótidos de adenina llamada **cola de poli A**.



En los eucariotas los ARNm cuando se forman



tienen fragmentos que llevan información para la síntesis de proteínas, a estos fragmentos se les llama **exones** e intercalados con ellos hay otros que no contienen información llamados **intrones**. Esto significa que la información genética del ARNm aparece fragmentada, por lo que el ARNm sufre un proceso de **maduración**, en el cual se eliminan los intrones y se unen entre sí los exones.

Los ARNm tienen una vida muy corta y se degrada rápidamente por acción de unas enzimas llamadas **ribonucleasas**, si no fuese así el proceso de síntesis proteica continuaría indefinidamente.

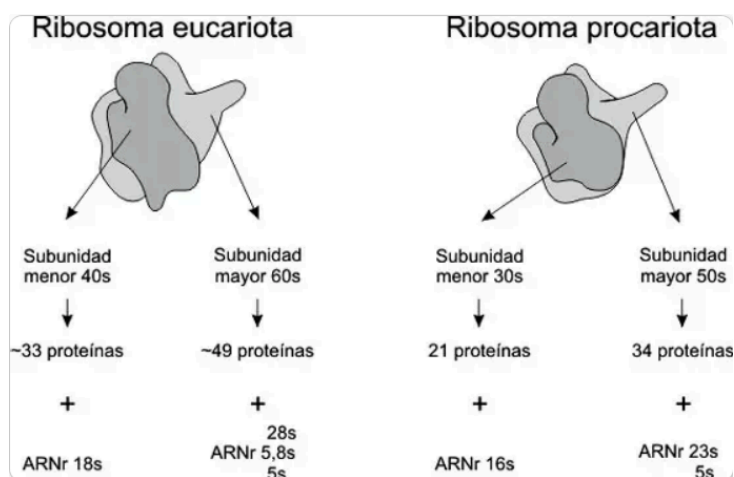
Observa como los intrones se eliminan y los exones se empalman formando el ARNm ya maduro

### ARNr: localización, función y estructura

Es el ARN más abundante de todos representan el 80% del total, **forma parte de los ribosomas y participa en la síntesis de proteínas.**

Los ribosomas están formados por diferentes cadenas de **ARNr unidos a proteínas.**

Las diferentes cadenas de ARNr se diferencian por el coeficiente de sedimentación que mide la velocidad con la que sedimentan en una centrifugadora y depende del tamaño y la forma. Se expresa en unidades svedberg (S).

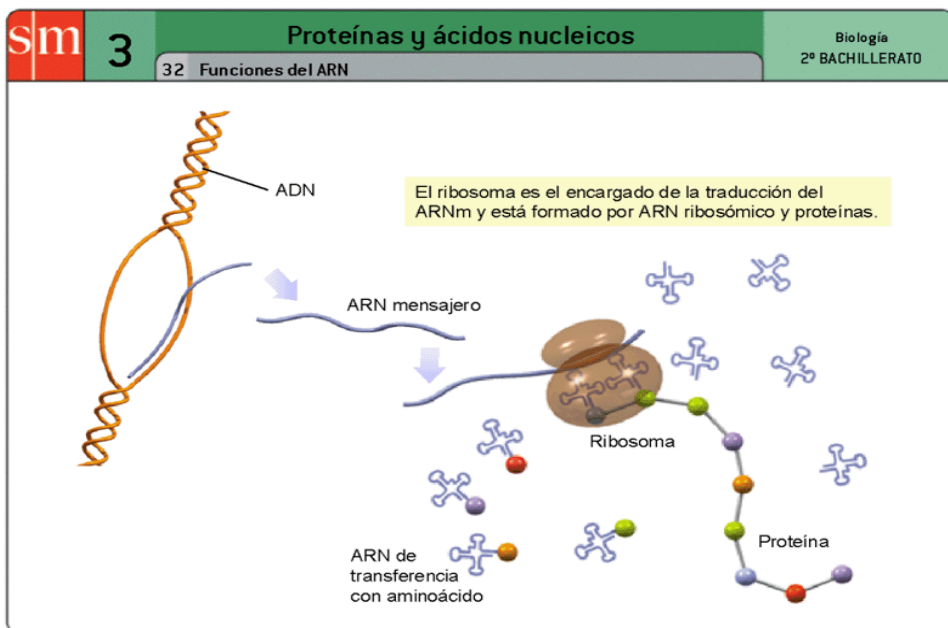


En eucariotas se distinguen 4 tipos: 28S, 5,8S y 5S que aparecen en la subunidad grande del ribosoma y el 18S que aparece en la subunidad pequeña. En los procariotas se distinguen 3 tipos de ARNr: 23S, 16S y 5S.

Los ARNr se producen en el **nucléolo** donde se fabrica un ARN de gran tamaño llamado **ARN nucleolar** que se fragmenta dando los diferentes ARNr que se unen a proteínas formando las subunidades ribosómicas que salen del núcleo al citoplasma.

Los ribosomas tienen un sitio para albergar el ARNm (en la subunidad pequeña) y otro lugar para albergar a los diferentes aminoácidos unidos a los ARNt. El ARNr de mayor tamaño (28S en eucariotas y 23S en procariotas) tiene **actividad de ribozima** al catalizar la formación del enlace peptídico durante la síntesis de proteínas.

### ARNt: localización, función y estructura



Son los de menor tamaño. Representan 15% de todo el ARN. Un 10% de las bases que lo forman son derivadas de las bases normales (A, G, C y U). Presentan algunas zonas con bases complementarias que forman estructuras secundarias en doble hélice y la aparición de

3 bucles o brazos dando la imagen de una hoja de trébol si se dispone en un plano, aunque en realidad forma una estructura tridimensional más compleja con forma de L invertida o "boomerang". Cada brazo tiene una función:

- **El brazo T** es donde se une **al ribosoma**.
- **El brazo D** es la zona por donde se une **al enzima aminoacil-ARN<sub>t</sub> sintetasa** que cataliza la unión del ARN<sub>t</sub> con el aminoácido que se une siempre en el extremo 3' que en todos los ARN<sub>t</sub> posee la secuencia CCA (en el -OH del nucleótido de A se une el aminoácido).
- **El brazo A** **contiene** 3 bases nitrogenadas llamada **anticodón**, diferente para cada ARN<sub>t</sub> en función del aminoácido que va a transportar, y es complementario del correspondiente codón del ARNm.

**sm** **3** **Proteínas y ácidos nucleicos** Biología  
2º BACHILLERATO

30 ARN de transferencia

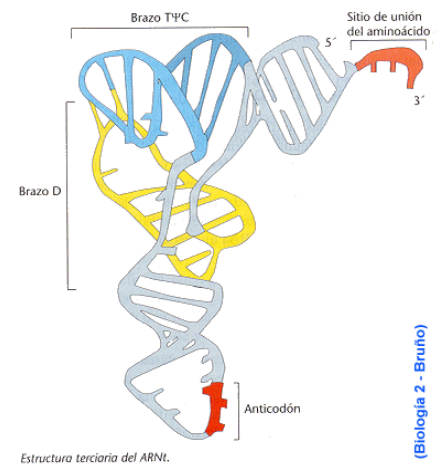
Transportan los aminoácidos hasta los ribosomas.

Todos los tipos de ARN<sub>t</sub> comparten algunas características:

En el extremo 5' un triplete que tiene guanina y un ácido fosfórico libre.

En el extremo 3' tres bases (C-C-A) sin aparear. Por este extremo se une al aminoácido.

En el brazo A un triplete de bases llamado anticodón diferente para cada ARN<sub>t</sub> en función del aminoácido que transportan.



Existen unos 50 tipos diferentes de ARN<sub>t</sub>. **Se sintetizan en el núcleo** por la transcripción de zonas concretas del ADN, una vez formados **salen al citoplasma donde realiza su función** de transportar los aminoácidos al ribosoma para que se sinteticen las proteínas.

Para realizar su función, el anticodón que posee cada ARN<sub>t</sub> reconoce un codón del ARNm y transfiere el aminoácido específico para ese codón. La especificidad de esta transferencia reside en la existencia de al menos un ARN<sub>t</sub> diferente para cada aminoácido, es decir, cada ARN<sub>t</sub> transporta un aminoácido específico (el aminoácido codificado por el codón del ARNm complementario al anticodón del ARN<sub>t</sub>).

### ARN heterogéneo nuclear (ARNhn)

Un **pre-ARN** que se transforma en ARN mensajero (ARNm) tras una etapa de eliminación de intrones durante el proceso de **maduración** en los eucariotas.

### ARN NUCLEOLAR (ARNn)

Es un ARN de elevado peso molecular (45 S), con estructura secundaria y terciaria en algunas regiones de la molécula, que se sintetiza en el nucleolo de las células eucariotas, a partir de una región del ADN denominada "región organizadora nucleolar".

El ARNn se asocia a proteínas del citoplasma y constituye las subunidades de los ribosomas. En realidad, no es más que el **precursor de diferentes tipos de ARN ribosómico (ARNr)**.

## ARN PEQUEÑO NUCLEOLAR (ARNpn)

Es un ARN con **actividad catalítica**. Participan en la **maduración** de las cadenas del **ARNm**. Se encuentra en el núcleo de las células eucariotas. Tiene un tamaño muy pequeño y, se une a proteínas del núcleo (ribonucleoproteínas) para **eliminar los intrones** del ARNm de eucariotas en el proceso de maduración.

### Ejercicio: Diferencias en composición, estructura y función entre el ADN y el ARN.

\*Resumen de las principales diferencias estructurales entre el ADN y el ARN:

	ADN	ARN
<b>Pentosa</b>	Desoxirribosa	Ribosa
<b>Bases nitrogenadas</b>	Sin uracilo	Sin timina
<b>Longitud de la cadena</b>	Generalmente más largas	Generalmente más cortas
<b>Tipo de molécula</b>	Generalmente cadena doble con bases nitrogenadas enfrentadas A=T/C≡G	Generalmente cadena simple, aunque puede plegarse y tener tramos de doble hélice intracatenarios (A=U/C≡G)
<b>Localización en la célula</b>	En el núcleo celular, siendo el componente principal de los cromosomas. También hay en mitocondrias y cloroplastos	En el núcleo, disperso en el nucleoplasma o concentrado en los nucléolos. En el citoplasma, disperso en el citosol o concentrado en los ribosomas
<b>Estabilidad</b>	Más estable debido al enrollamiento en doble hélice	Menos estable, pues sus moléculas no alcanzan grados de organización tan compactos como la doble hélice

<b>Niveles de complejidad estructural</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ADN procarionta: estructura primaria y secundaria (enrollamiento en superhélice).</li> <li>■ ADN eucariota: estructura primaria, secundaria y otros niveles de complejidad: nucleosoma, «collar de perlas», fibra cromatínica o fibra de 30 nanómetros, dominios estructurales en forma de bucles radiales, rosetón de bucles radiales, espiral de rosetones y, por último, cromosoma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ARNm: estructura primaria.</li> <li>■ ARNn, ARNr y ARNt: estructura primaria, secundaria y terciaria (en algunas regiones de la molécula que presentan secuencias de bases complementarias).</li> </ul>
<b>Función</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Replicación: la información genética se transmite de generación en generación.</li> <li>■ Almacenamiento de la información genética.</li> <li>■ Transcripción (síntesis de ARN).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ARNm: se traduce y da lugar a la secuencia de aminoácidos de una proteína.</li> <li>■ ARNn: precursor de los ARNr.</li> <li>■ ARNr: forma parte de las subunidades ribosómicas.</li> <li>■ ARNt: transporta aminoácidos hasta los ribosomas en la síntesis de las proteínas.</li> <li>■ ARNi: controla la expresión de los genes.</li> </ul>

### Las funciones biológicas del ADN del ARN

**ADN.** Portador de la información genética: almacena la información que se transmite de una célula a otra generación tras generación.

En el ADN se encuentra la información para producir todas las proteínas que componen la célula. El **ARNm** es una copia parcial del ADN y una vez fuera del núcleo se traducirá, gracias al **ARNr** y **ARNt**, a un lenguaje de aminoácidos.

En los **virus** que no tienen ADN, es el **ARN** el encargado de realizar las funciones de almacenamiento y transmisión de la información genética.

### Dogma central de la biología molecular:

