

TEMA 6: ÁCIDOS NUCLEICOS

GENERALIDADES Y COMPOSICION

Se componen de **C, H, O, N y P**. Son polímeros de gran complejidad formados por la unión de 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**:

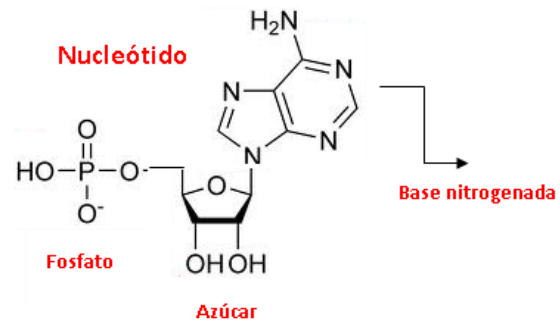
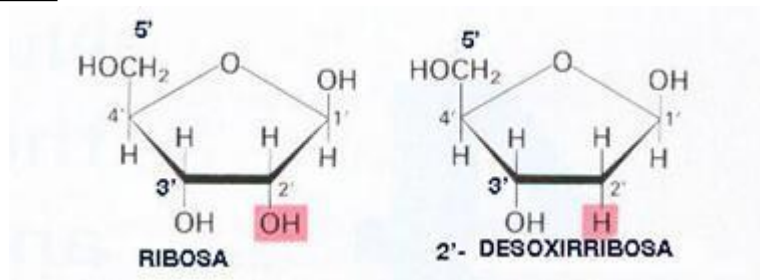


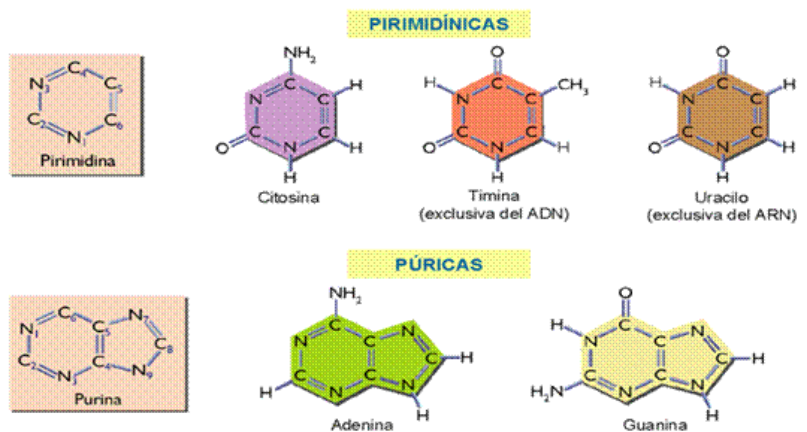
Figura.2. Composición de un nucleótido.

- **Pentosa**: Pueden ser la **β-D-ribosa** (ARN) **ribonucleótidos**; o **β-D-desoxirribosa** (ADN) **desoxirribonucleótidos**



- **Bases nitrogenadas**: Pueden ser de dos tipos:
 - **Bases púricas**: Derivan de la **purina**, formada por **dos ciclos**. Ej: **adenina (A)** y **guanina (G)**.
 - **Bases pirimidínicas**: Derivan de la **pirimidina**, presentan **un solo ciclo**. Ej: **citosa (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.

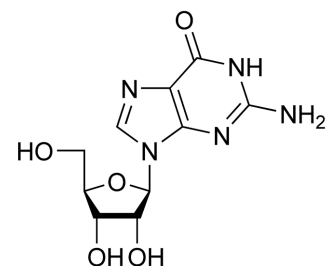


- **Grupo fosfato** o ácido ortofosfórico (H_3PO_4), **ionizado** a pH fisiológico. Se unen al Carbono 5' de la pentosa del nucleósido y da lugar a un **nucleótido completo**.

Concepto de nucleósido

Se forman por la unión de una **pentosa** y una **base nitrogenada**, unidos por enlace **N-glucosídico**. 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.

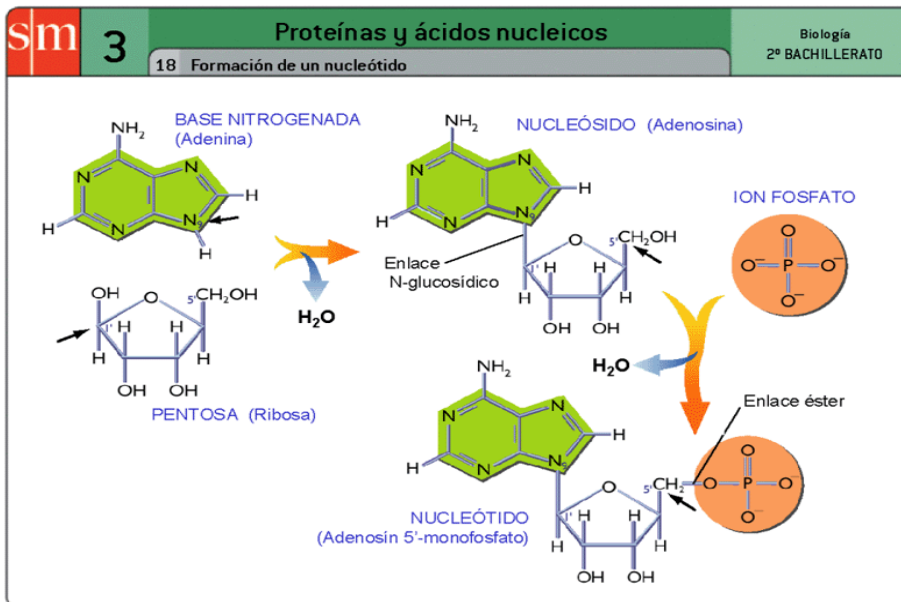
Tipos: **ribonucleósidos** y los **desoxirribonucleósidos**, según su pentosa sea ribosa o desoxirribosa, respectivamente.



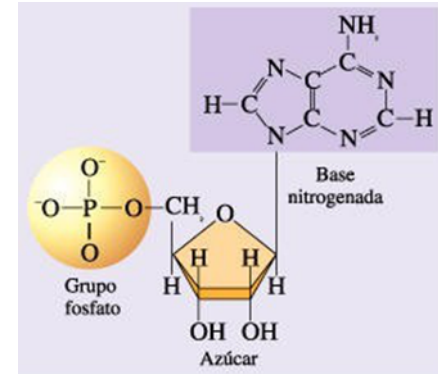
Concepto de nucleótido

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



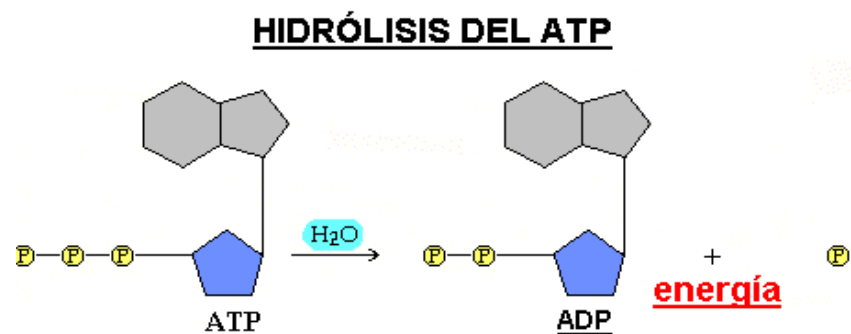
ua.



No todos los nucleótidos forman ácidos nucleicos, sino **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 adenosín trifosfato.

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



Otros nucleótidos que no forman ácidos nucleicos son por ejemplo los que actúan como **coenzimas**, como el **NAD**, **NADP**, **FMN**, **FAD**... que intervienen en reacciones redox (transportadores de e-).

- 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:

Estructural	Forman parte de ácidos nucleicos, cromosomas y ribosomas donde se almacena y transmite la información genética.
Energética	Participan en reacciones de transferencia de energía que se acumula en los enlaces fosfato y su hidrólisis impulsa una gran variedad de reacciones químicas. Ej: ATP. Otros: GTP, UTP, CTP.
Coenzimática	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.
Mensajeros	El AMP-cíclico (AMPc) es un importante segundo mensajero en la

químicos intracelulares

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).

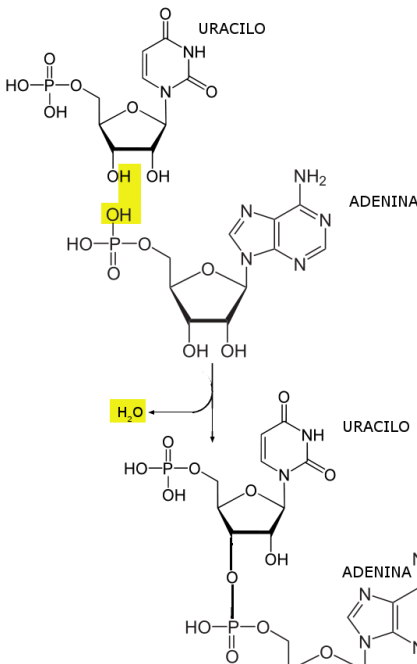
El ADN posee diferentes **niveles de complejidad estructural**, hablándose de **estructura primaria** cuando es una sola cadena polinucleótida, **estructura secundaria** cuando son dos cadenas polinucleótidas formando una doble hélice, y **estructura terciaria (cromatina)** cuando a la doble hélice se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

Localización: 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** son **almacenar, codificar y transmitir la información genética**.

Estructura primaria del ADN

Es la **secuencia de desoxirribonucleótidos unidos por enlace fosfodiéster**, 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.



Existe un **extremo 5'** y otro **extremo 3'**.

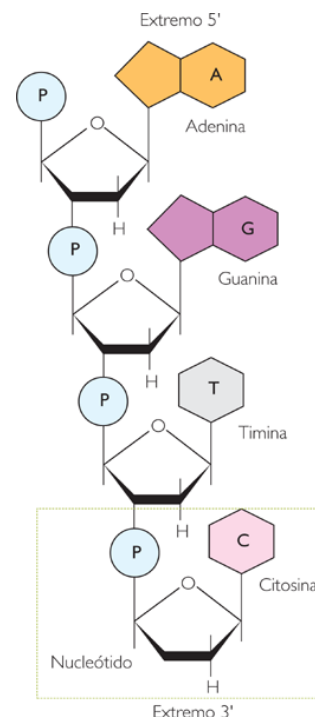
Las **cadena polinucleótidas** siempre se unen **añadiendo nucleótidos en las posiciones 3'**, por lo que **se forman siempre en el sentido 5' → 3'**.

Las cadenas de nucleótidos se diferencian en la **secuencia de bases**, el **tamaño** y la **composición de bases**.

Estructura secundaria del ADN

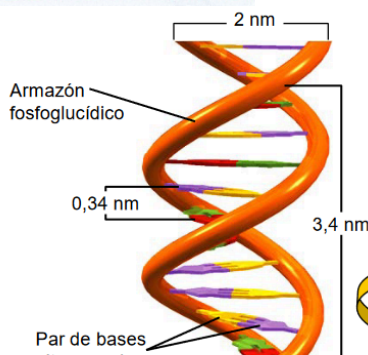
Fue establecida en 1953 por **Watson y Crick**.

Pero este modelo no hubiera sido posible sin los trabajos de **Erwin Chargaff**.



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

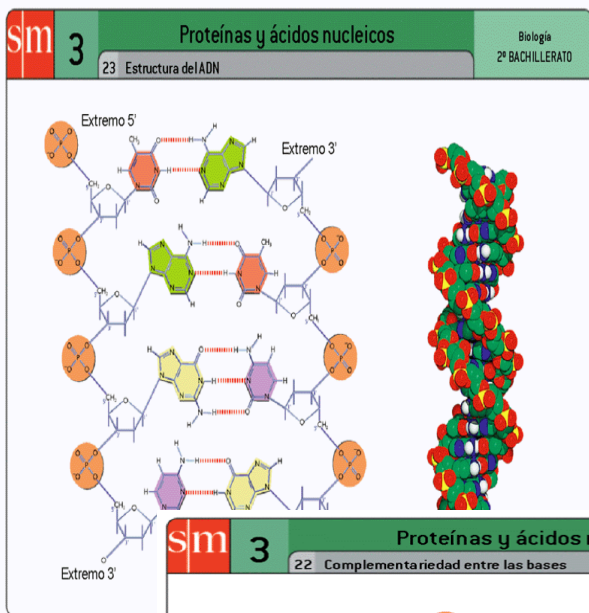
$$\text{N}^{\circ} \text{de citosinas} = \text{N}^{\circ} \text{de guaninas}$$



- 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**.

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.



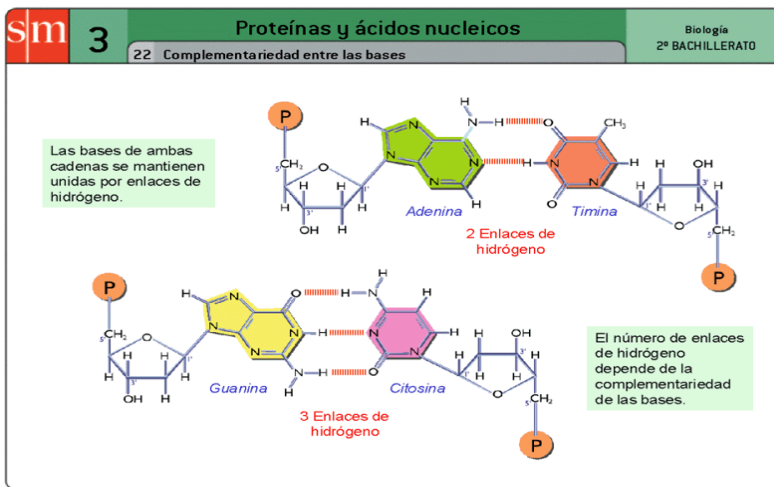
El enrollamiento de la doble hélice es **dextrógiro** (gira hacia la derecha) y **plectonémico**, es decir, que para que las dos cadenas se separen es necesario que se desenrollen.

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**, (orientadas en sentido opuesto: una tiene sentido 5' → 3' y la otra 3' → 5') y son **complementarias**, (T=A y C=G).

Las unen entre

una una de grosor

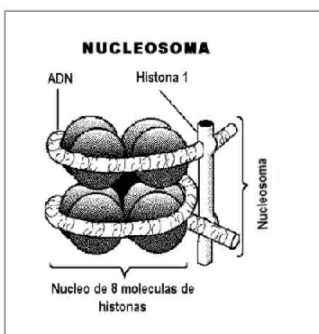


bases complementarias se mediante **enlaces de H**: la **A y T** se establecen **dos enlaces** y entre **G y C** tres **enlaces** de H. El enfrentamiento es siempre entre base púrica (anillo más grande) y pirimidínica (anillo más pequeño) esta forma la molécula tiene un uniforme.

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. 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**.

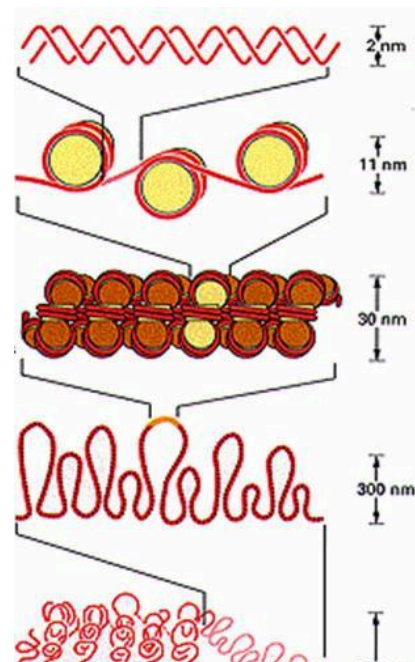


Las cuatro primeras forman el **nucleosoma**, formado por un **octámero de histonas alrededor del cual se enrolla el ADN** (dos vueltas de doble hélice de ADN por octámero, que equivalen a 146 pares de bases).

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”**. Este primer nivel de empaquetamiento o **“collar de cuentas”** recibe el nombre de **fibra elemental de cromatina** o **fibra nucleosómica** y tiene **10 nm de grosor**.

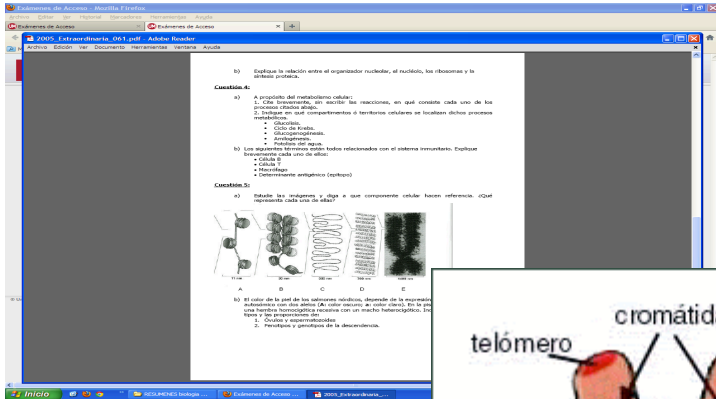
Las **fibras de cromatina de 30**



nm es el siguiente grado de plegamiento, gracias a la **histona H1**.

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.

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)

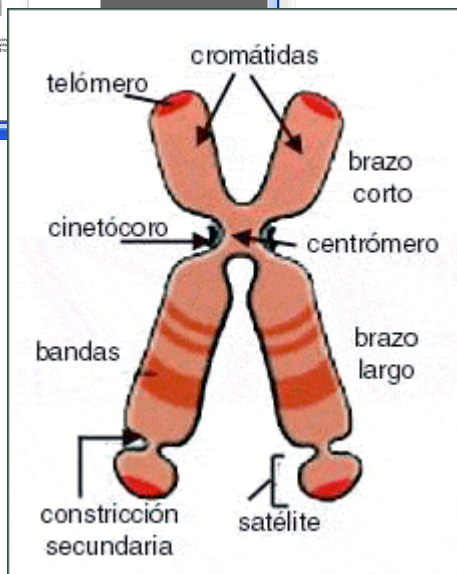
cromosoma metafásico

condensado y se distingue mejor. siguientes partes:

cada una de las partes simétricas y del cromosoma.

constricción primaria: es una estrechamiento que **une entre sí las cromosoma** en dos **brazos**.

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



Morfología del

Es el **más** Se distinguen las

- **Cromátidas:** son genéticamente idénticas

- **Centrómero o** zona delgada o **cromátidas** y divide al

- **Constricciones** distintos al centrómero. (formarán los nucleolos 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.

La misión de los telómeros no es transportar información genética sino **estabilizar la estructura de los cromosomas**.

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:** **proteínas** a ambos lados del centrómero, que **es donde se insertan los microtúbulos del huso acromático** responsables de la separación controlada de las cromátidas de cada cromosoma durante la división celular.

- **Bandas:** 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 y los dos brazos presentan igual longitud.
- **Submetacéntricos**: Uno de los brazos presenta un tamaño ligeramente superior al otro.
- **Acrocéntrico**: los brazos son muy desiguales en longitud.
- **Telocéntrico**: sólo se aprecia un brazo del cromosoma al estar el centrómero en el extremo.

Dotación cromosómica (número 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.

El lugar que ocupa un gen en el cromosoma se llama **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).

Las células reproductoras o gametos al tener un solo juego de cromosomas son **haploides** (n).

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.

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 puede tener 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.

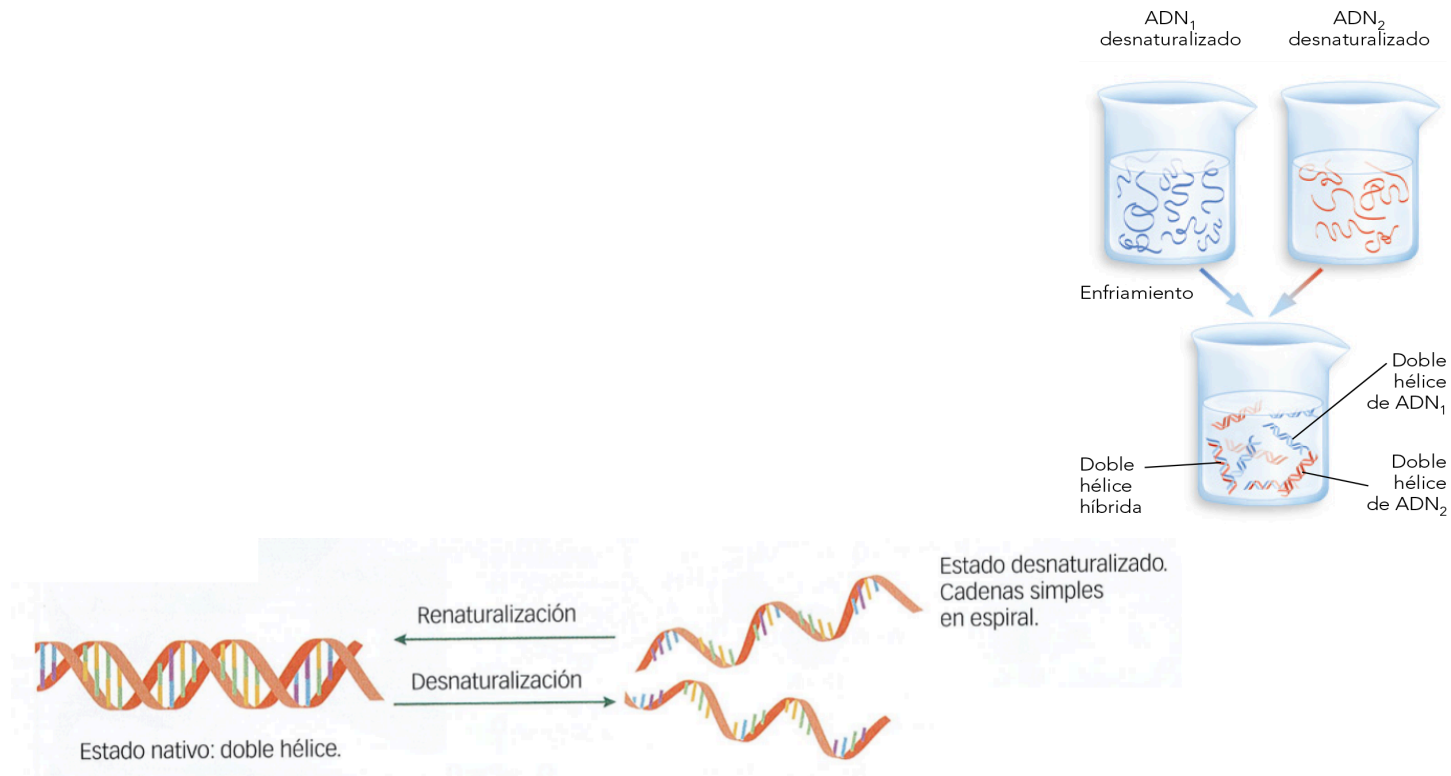
Si se **calienta**, se somete a **cambios de pH** o a cambios en las **condiciones iónicas** del medio, los puentes de hidrógeno se rompen y las dos cadenas se separan, produciendo **desnaturalización**.

La desnaturalización, no afecta a la estructura primaria del ADN, ya que los enlaces fosfodiéster permanecen intactos.

Se llama temperatura de fusión a aquella T^a en la que el 50% de la doble hélice está 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** si se recuperan las condiciones iniciales: **renaturalización**.



La renaturalización permite que se produzca la **hibridación**, permitiendo 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.

La **hibridación** se utiliza en **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, en 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 es **monocatenario** aunque **puede tener zonas 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

sm 3 Proteínas y ácidos nucleicos Biología 2º BACHILLERATO

28 El ácido ribonucleico (ARN)

Es un **polirribonucleótido** (contiene la ribosa como pentosa). Las bases nitrogenadas que lo forman son ADENINA, URACILO, CITOSINA y TIMINA (carece de guanina).

Excepto en algunos virus, el ARN es

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.

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 lleva dicha información hasta los ribosomas del citoplasma para que se sinteticen las proteínas. Cada grupo de **3 nucleótidos del ARNm** se denomina **codón** y **codifica un aminoácido**.

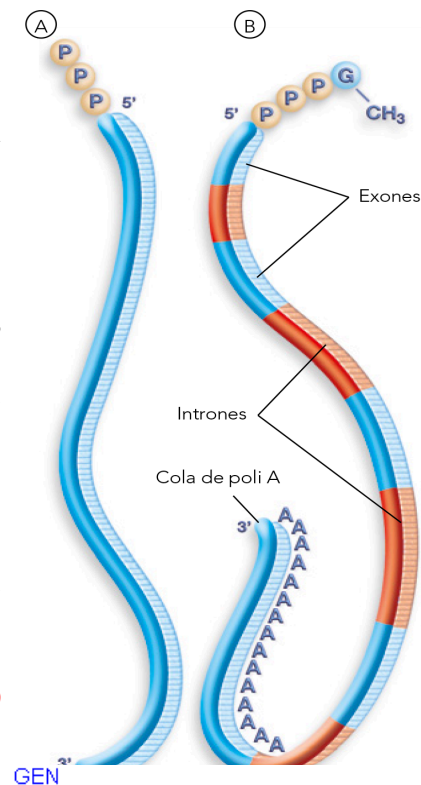
Aunque los ARNm de procariontes y eucariotas presentan diferencias entre ellos:

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

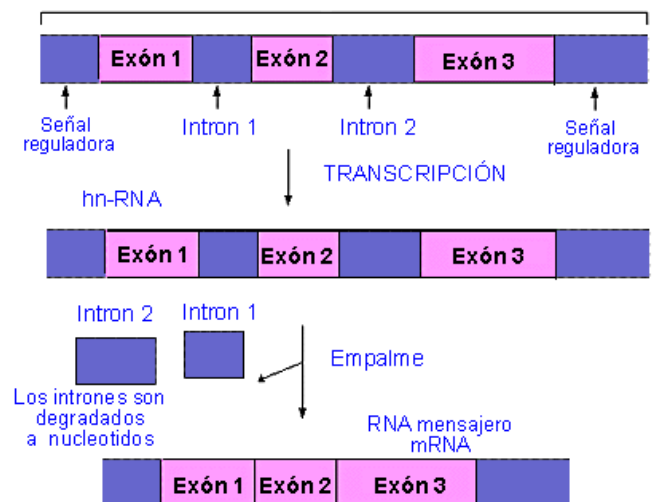
Posee en el extremo 5', tres grupos fosfato. Carece de caperuza y de cola poli-A, igualmente no presenta intrones por ello no necesita periodo de maduración (comparar más adelante).

- 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 "**caperuza**" y en el **extremo 3'** presenta una **cola de poli A**.



En los eucariotas los ARNm al formarse tienen fragmentos que llevan información para la síntesis de proteínas (**exones**) e intercalados hay otros que no contienen información (**intrones**). Así, la información genética aparece fragmentada y sufre un proceso de **maduración**, en el cual se eliminan los intrones y se unen entre sí los exones.



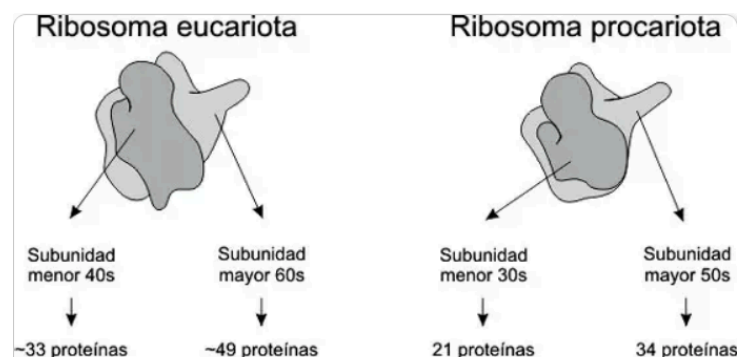
Los ARNm tienen una vida muy corta y se degradan rápidamente por acción de unas enzimas llamadas **ribonucleasas**, si no fuese así el proceso de síntesis proteica continuaría indefinidamente.

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 (80%), **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. Se expresa en unidades svedberg (S).

En eucariotas se distinguen 4 tipos: 28S, 5,8S y 5S (subunidad grande) y el 18S (subunidad pequeña).

En 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.

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.

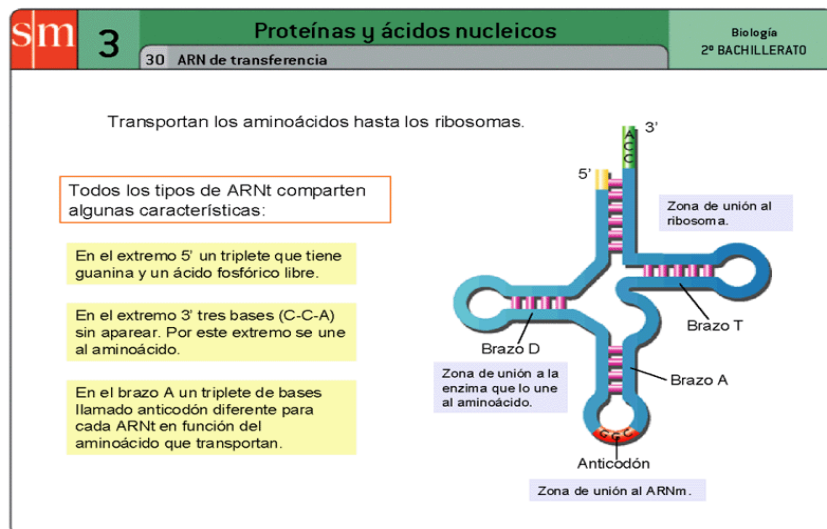
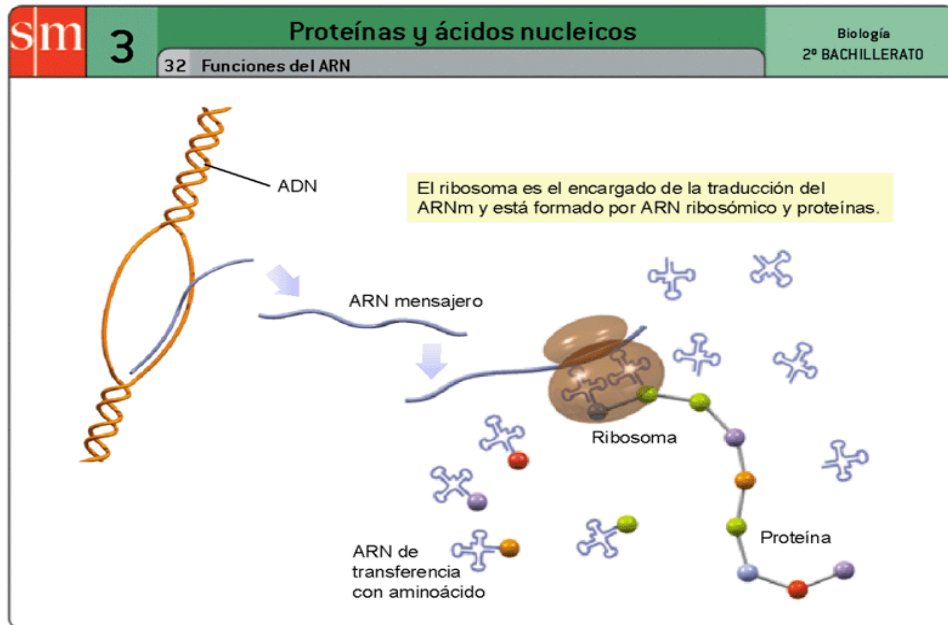
ARNt: localización, función y estructura

Son los de menor tamaño. Representan el 15%.

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 3 bucles o brazos. Cada brazo tiene una función:

- **El brazo T** es donde se une al **ribosoma**.
- **El brazo D** por donde se une al **enzima aminoacil-ARNt sintetasa** que cataliza la unión del ARNt con el aminoácido que se une.
- **El brazo A** contiene 3 bases nitrogenadas llamada **anticodón**, y es complementario del correspondiente codón del ARNm.



Los ARNt se sintetizan en el núcleo y salen al citoplasma donde realiza su función de transportar los aminoácidos al ribosoma para que se sinteticen las proteínas.

Cada ARNt transporta un aminoácido específico.

OTROS ARN (hay más)

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), que se sintetiza en el nucleolo de eucariotas, a partir de una región del ADN denominada "región organizadora nucleolar".

Es el **precursor de diferentes tipos de ARN ribosómico (ARNr)**. (El ARNn se asocia a proteínas del citoplasma y constituye las subunidades de los ribosomas).

ARN PEQUEÑO NUCLEOLAR (ARNpn)

Es un ARN con **actividad catalítica**. Participan en la **maduración** de las cadenas del **ARNm**.

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.

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

	ADN	ARN
Pentosa	Desoxirribosa	Ribosa
Bases nitrogenadas	Sin uracilo	Sin timina
Longitud de la cadena	Generalmente más largas	Generalmente más cortas
Tipo de molécula	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)
Localización en la célula	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
Estabilidad	Más estable debido al enrollamiento en doble hélice	Menos estable, pues sus moléculas no alcanzan grados de organización tan compactos como la doble hélice

Niveles de complejidad estructural	<ul style="list-style-type: none"> ■ ADN procarionta: estructura primaria y secundaria (enrollamiento en superhélice). ■ 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. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ARNm: estructura primaria. ■ ARNn, ARNr y ARNt: estructura primaria, secundaria y terciaria (en algunas regiones de la molécula que presentan secuencias de bases complementarias).
Función	<ul style="list-style-type: none"> ■ Replicación: la información genética se transmite de generación en generación. ■ Almacenamiento de la información genética. ■ Transcripción (síntesis de ARN). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ARNm: se traduce y da lugar a la secuencia de aminoácidos de una proteína. ■ ARNn: precursor de los ARNr. ■ ARNr: forma parte de las subunidades ribosómicas. ■ ARNt: transporta aminoácidos hasta los ribosomas en la síntesis de las proteínas. ■ ARNi: controla la expresión de los genes.

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:

