

6. ÀCIDS NUCLEICS

Els àcids nucleics són grans biomolècules que contenen sempre C, H, O, N i P. La seva unitat bàsica s'anomena **nucleòtid**.

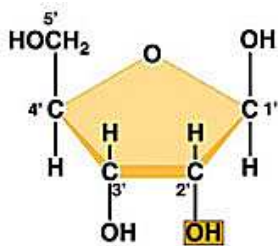
Són les molècules encarregades d'emmagatzemar, transmetre i expressar la **informació genètica**, és a dir, la informació necessària per a la síntesis de proteïnes.

Es troben en totes les cèl·lules de tots els éssers vius, des dels bacteris fins als éssers humans, i amb la mateixa composició química.

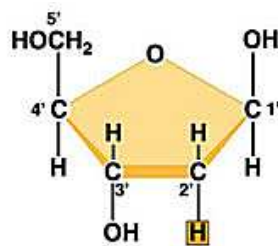
1. NUCLEÒTIDS

El nucleòtid és una molècula formada per altres tres:

- Una pentosa, que pot ser ribosa o desoxiribosa:

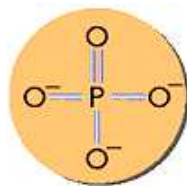


Ribosa



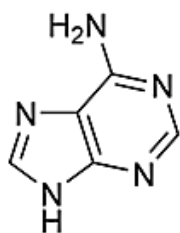
Desoxiribosa

- Un àcid fosfòric o ió fosfat.

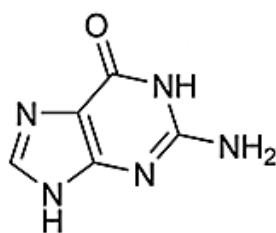


- Una base nitrogenada, que es classifiquen en púriques i pirimidíniques, i són:

Bases púriques

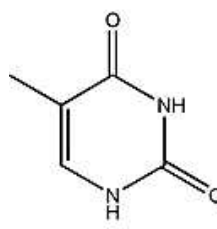


Adenina

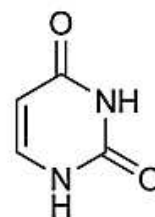


Guanina

Bases pirimidíniques



Timina



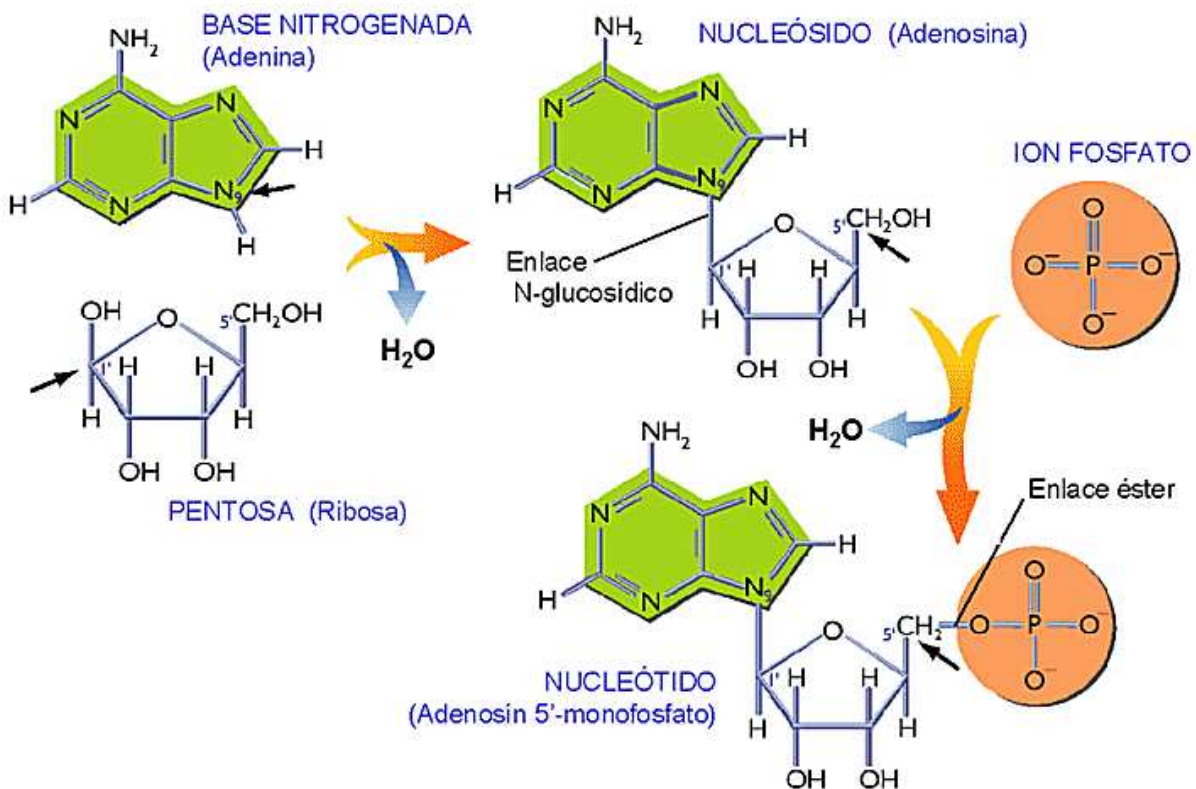
Uracil



Citosina

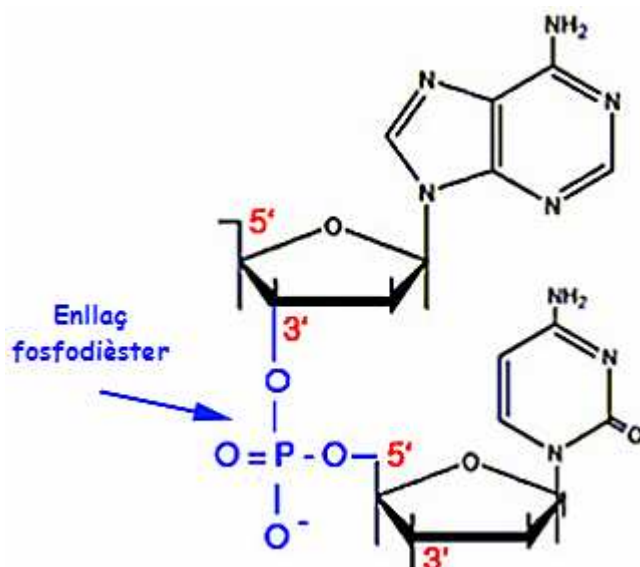
La unió d'una base nitrogenada i una pentosa dóna lloc a una molècula anomenada **nucleòsid**. Aquesta unió es realitza mitjançant un enllaç N-glucosídico que s'estableix entre el C₁ de la pentosa i un nitrogen de la base (el N₁ si és pirimidínica, o el N₉ si és púrica) amb la pèrdua d'una molècula d'aigua.

Els nucleòtids es formen per unió d'un nucleòsid amb una molècula d'àcid fosfòric pel grup hidroxil del C₅ de la pentosa mitjançant **enllaç èster** amb pèrdua d'una molècula d'aigua.



Els àcids nucleics estan formats per llargues cadenes de nucleòtids enllaçats entre si pel grup fosfat mitjançant un **enllaç fosfodièster** entre el C₅ d'un nucleòtid i el carboni C₃ del següent amb pèrdua d'una molècula d'aigua.

Com el primer nucleòtid té lliure el carboni 5' i el següent nucleòtid té lliure el carboni 3', es diu que la seqüència de nucleòtids s'ordena i creix des de 5' a 3' (5' → 3').



2. ÀCIDS NUCLEICS

Existeixen dos tipus d'àcids nucleics, l'**ADN** i l'**ARN**, que es diferencien per la pentosa que duen: desoxiribosa i ribosa, respectivament.

A més es diferencien per les bases nitrogenades que contenen, adenina, guanina, citosina i timina, en l'ADN; i adenina, guanina, citosina i uracil en l'ARN.

Una altra diferència es troba en l'estructura de les cadenes, en l'ADN és una cadena doble i en l'ARN és, generalment, una cadena senzilla.

L'ÀCID DESOXIRIBONUCLEIC (ADN)

L'ADN és l'**Àcid DesoxiriboNucleic**. L'ADN és la molècula on s'emmagatzema, de forma codificada, la **informació genètica** d'un ésser viu i l'encarregada de transmetre-la a la descendència.

La seva seqüència de nucleòtids conté la informació necessària per a poder controlar el metabolisme, les funcions vitals d'un ésser viu i fabricar les seves proteïnes. És un tipus de molècula molt complexa.

L'ADN està compost per una seqüència de nucleòtids formats per **desoxiribosa**. Les bases nitrogenades que apareixen formant els nucleòtids d'ADN són **Adenina, Guanina, Citosina i Timina**. No apareix Uracil.

Al medi aquós cel·lular els llargs filaments d'ADN adopten una configuració espacial on es poden descriure diversos nivells estructurals de complexitat creixent; cadascun depèn de l'anterior i condiciona el nivell superior: són les estructures primària, secundària i terciària.

Estructura primària de l'ADN: seqüència de nucleòtids

L'estructura primària es tracta de la seqüència lineal de nucleòtids que conté un ADN. Les molècules d'ADN són específiques i cada organisme té un ADN idèntic per a totes les seves cèl·lules. La informació genètica està continguda en l'ordre exacte dels nucleòtids.

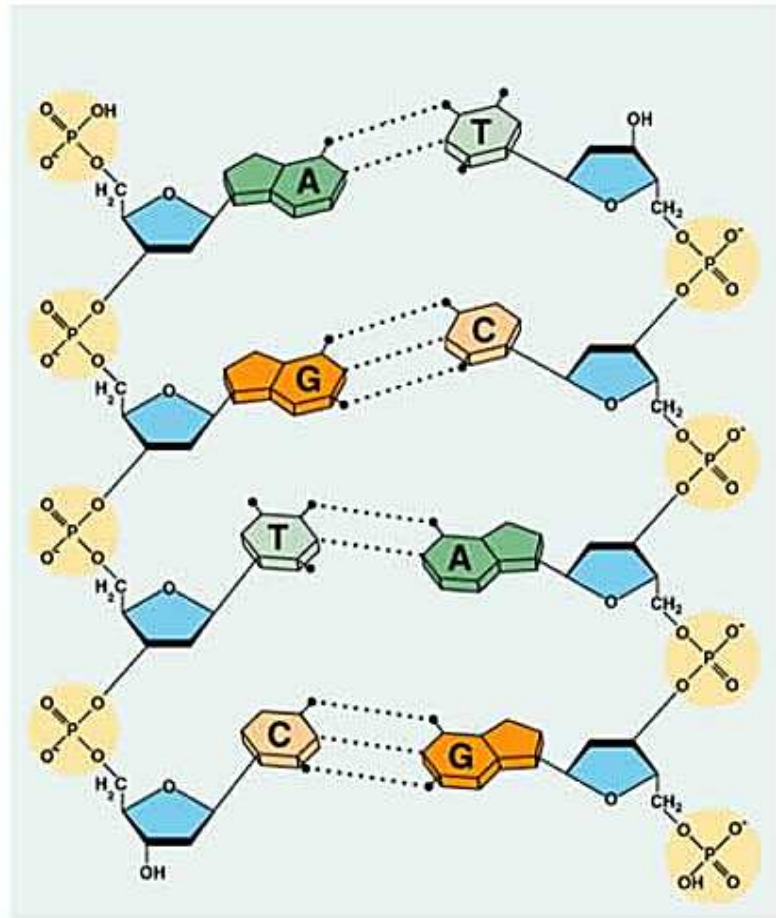
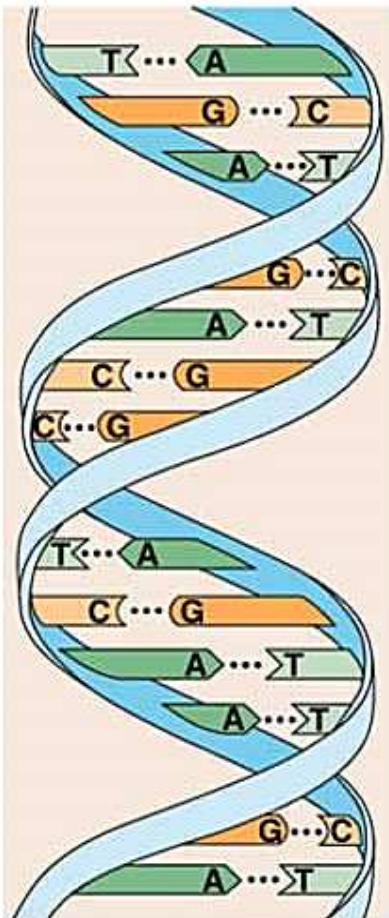
Estructura secundària: model de Watson i Crick

L'estructura secundària de l'ADN va ser proposada per James Watson i Francis Crick, a partir de les dades aportades per altres investigadors, com Chargaff, Franklin i Wilkins:

- L'ADN es veia com una molècula llarga i rígida, no plegada com les proteïnes.
- En la molècula hi havia detalls estructurals repetits cada 0,34 nm i cada 3,4 nm.
- Per una mateixa espècie, el contingut en bases púriques era igual al de pirimidíniques, o dit d'una altra forma: $A + G = T + C$ (regla de Chargaff).

El model de Watson i Crick va ser proposat el 1953. Era compatible amb totes les dades que es tenien en aquell moment i, a més, permetia comprendre el funcionament de l'ADN en la transmissió de la informació genètica:

- L'ADN és una **dobla hèlix** formada per dues cadenes de nucleòtids enrotllades al voltant d'un eix imaginari. Seria semblant a una escala de cargol on les bases nitrogenades es troben situades a l'interior, formant els esglaons; i les cadenes formades per la pentosa i l'àcid fosfòric seria els passamans.
- L'enrotllament es **dextrògir** i **plectonèmic**.
- Cada parella de nucleòtids està separada de la següent per una distància de 0,34 nm i cada volta de la doble hèlix està formada per 10 nucleòtids, la qual cosa representa una longitud de **3,4 nm per volta** d'hèlix.
- Les dues cadenes de nucleòtids són **antiparal·leles** (orientades en sentits oposats) i **complementàries**: quan en un filament ens trobem adenina, a l'altre ens trobem timina; quan en un filament trobem guanina, a l'altre trobem citosina. La complementaritat entre les bases nitrogenades s'estableix mitjançant ponts d'hidrogen.



Estructura terciària: empaquetament de l'ADN

A les cèl·lules eucariòtiques l'ADN es troba dintre del nucli. Per això, aquesta gran molècula ha de sofrir una sèrie de plegaments sobre si mateixa. Aquesta estructura plegada es realitza mitjançant la unió amb unes molècules proteïques anomenades **histones**.

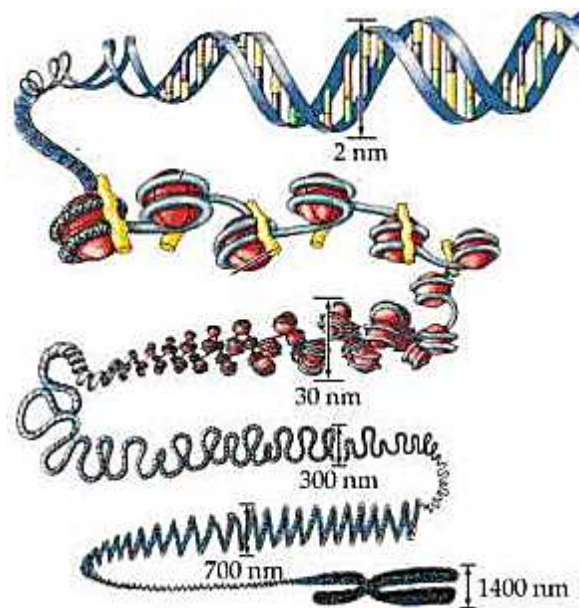
L'estructura terciària es refereix als diferents nivells d'empaquetament que adopta l'ADN per poder cabre dintre de la cèl·lula. No hem d'oblidar que un filament d'ADN pot arribar a tenir un mil·límetre de longitud mentre que la cèl·lula no té més d'unes desenes de micres (mil·lèsimes de mil·límetre).

El grau d'empaquetament varia segons es tracti d'organismes procariotes o eucariotes:

- En procariotes es plega com una super-hèlix en forma, generalment, circular i associada a una petita quantitat de proteïnes. El mateix ocorre en l'ADN de mitocondris i cloroplasts.

- En eucariotes l'empaquetament ha de ser més complex i compacte i, per això, necessita la presència de proteïnes com les **histones**. A la unió d'ADN i proteïnes es coneix com **cromatina**, on s'hi distingeixen diferents nivells d'organització:

- La unitat bàsica de la cromatina és el **nucleosoma**. Cada nucleosoma consta d'un octàmer d'histones al voltant del qual s'enrotllen dues voltes d'ADN. Els diferents nucleosomes apareixen units per segments d'ADN fet que atorga al conjunt un aspecte de "**collaret de perles**".



- A la cèl·lula la cromatina ha de mantenir-se en un estat molt condensat i, per tant, no s'adapta a la forma estesa del collaret de perles, sinó que els nucleosomes es troben enrotllats sobre si mateixos i generen unes estructures generals anomenades **solenoides** que donen lloc a la **fibra de 30 nm**.

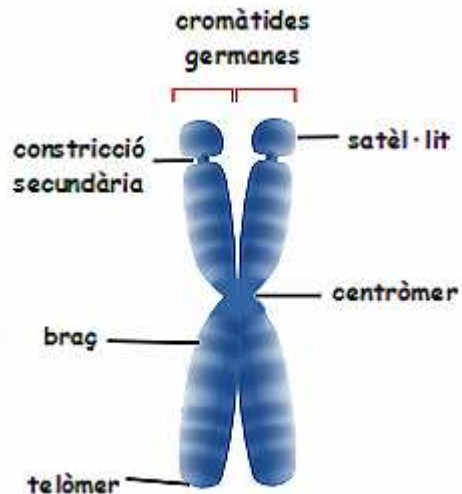
- La fibra de cromatina de 30 nm es plega en forma de grans bucles de solenoide formant la **fibra de 300 nm**; i encara més plegada, forma la **fibra de 700 nm**.

- Quan la cèl·lula entra en mitosi, la cromatina s'organitza i els bucles de cada fibra es compacten extraordinàriament i s'enrotllen per formar un **cromosoma**.

En un cromosoma, cada una de les còpies del material genètic rep el nom de **cromàtide**, i està unida a l'altra cromàtide mitjançant una constricció anomenada **centròmer**.

Cada una de les parts de la cromàtide que queden a banda i banda del centròmer s'anomenen braços.

Els braços poden presentar constriccions secundàries als extrems. El tros de cromàtide que resta entre la constricció i l'extrem s'anomena **satèl·lit**.



Replicació de l'ADN

La particularitat més important de l'ADN és la capacitat que té de fer **còpies o rèpliques de sí mateix**. Aquest procés és fonamental per a la transferència de la informació genètica de generació en generació.

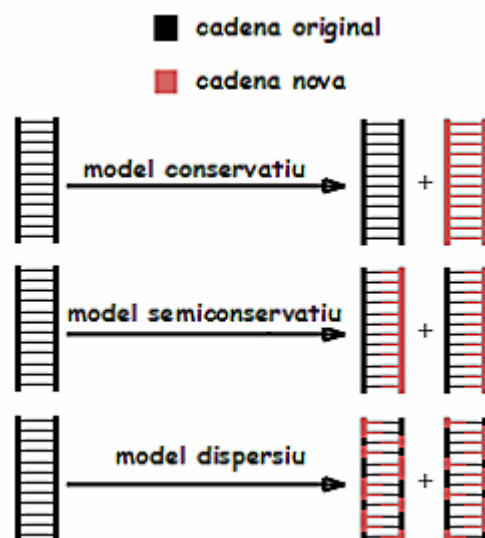
La **replicació** és el procés pel qual l'ADN es copia per poder ser transmès a nous individus.

Amb el model de la doble hèlix de Watson i Crick es va desenvolupar la idea de que els filaments originals devien de servir de patró per fer la còpia. Hi havia tres possibles models de replicació:

1. **Model conservatiu:** Proposava que després de la replicació es mantenia la molècula original d'ADN intacta, obtenint-se una molècula idèntica d'ADN completament nova, és a dir, amb els dos filaments nous.

2. **Model semiconservatiu:** S'obtenen dues molècules d'ADN filles, formades ambdues per un filament original i per un de nou.

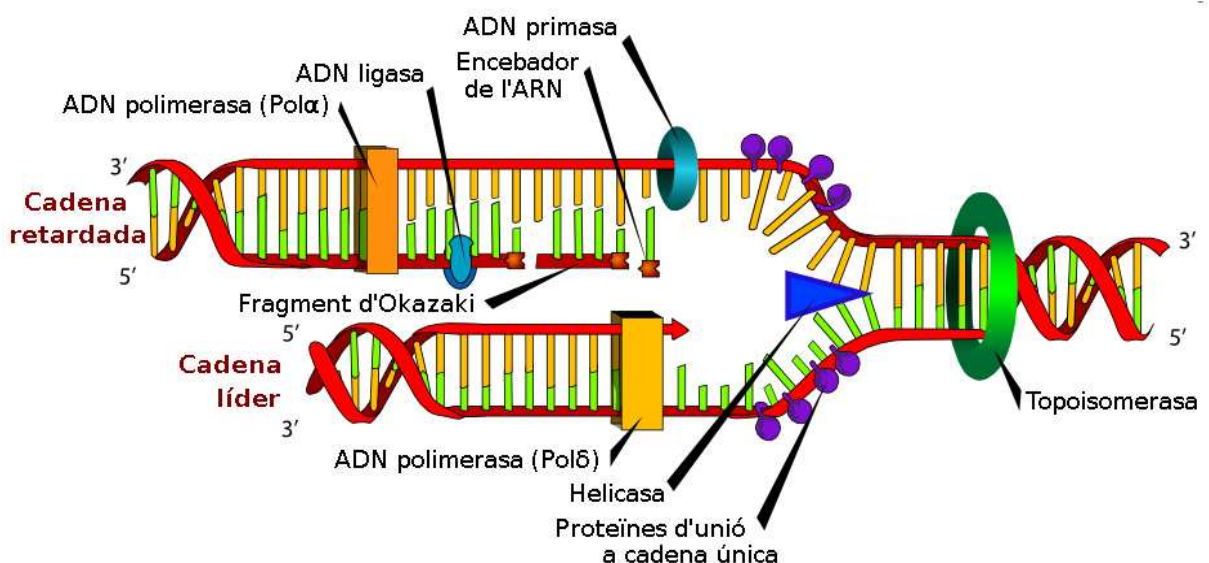
3. **Model dispersiu:** El resultat final són dues molècules noves formades per filaments en els que es barregen a l'atzar fragments originals amb nous.



Meselson i Stahl van demostrar el 1958 que el model vàlid era el semiconservatiu.

Malgrat que existeixen petites variacions entre procariotes i eucariotes, el mecanisme de replicació segueix els següents passos:

- Les **helicases** desenrotllen i separen els dos filaments de la doble hèlix d'ADN, desfent els ponts d'hidrogen entre bases complementàries. Les **topoisomerases** eviten la tensió generada per la torsió en la desespiralització. Les **proteïnes d'unió a cadena única** o **SSBP** eviten que l'ADN es torni a enrotllar.
- En l'ADN eucariota es produeixen molts desenrotllaments al llarg de la molècula, formant-se zones obertes que reben el nom de **forqueta** o **bombolla de replicació**, on començarà la síntesi.
- L'**ARN-polimerasa** (primasa) fabrica petits fragments d'ARN complementaris de l'ADN original. Són els anomenats "**primers**" o encebadors d'uns 10 nucleòtids, als quals s'afegiran desoxiribonucleòtids.
- L'**ADN-polimerasa III** afegeix els desoxiribonucleòtids a l'extrem 3' (sentit 5' → 3'), allargant així el filament.
- En les forquetes de replicació sempre hi ha un filament que se sintetitza de forma contínua i un altre que se sintetitza en diversos fragments, els anomenats **fragments d'Okazaki**.
- L'**ADN-ligasa** va unint tots els fragments d'ADN al temps que elimina els ribonucleòtids dels encebadors.
- L'ADN-polimerasa III detecta **nucleòtids erronis**, les **endonucleases** tallen aquests nucleòtids i l'**ADN-polimerasa I** omple el buit deixat per l'eliminació dels nucleòtids incorrectes.
- Mentre es van sintetitzant els filaments i unint els fragments s'**origina la doble hèlix**, de forma que en finalitzar el procés s'**alliberen dues molècules idèntiques** d'ADN, amb un filament antic i un altre de nou.



ELS ÀCIDS RIBONUCLEICS (ARN)

Els ARN són polinucleòtids de ribosa d'una sola cadena (excepte en alguns virus), que es disposen en estructura primària, encara que de tant en tant poden formar estructures secundàries o terciàries. La presència d'un oxigen en la posició 2' de la ribosa dificulta que es formi la doble cadena tal i com es forma en l'ADN.

En lloc de timina conté **uracil**.

El filament d'ARN es pot enrotllar sobre sí mateix mitjançant la formació de parells de bases en algunes seccions de la molècula.

La mida de les molècules d'ARN és molt menor que les de l'ADN.

En la cèl·lula apareixen diversos tipus d'ARN, cadascun amb una funció diferent, com per exemple:

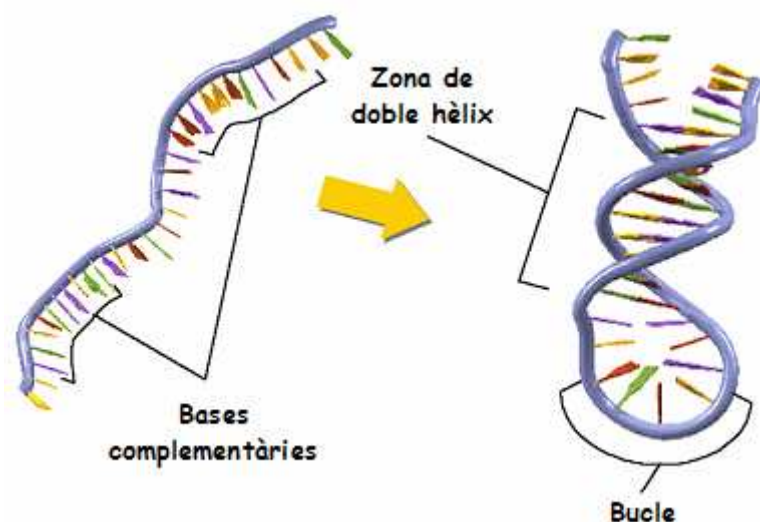
- ARN missatger.
- ARN ribosòmic.
- ARN de transferència o ARN *transfer*.

ARN missatger (ARNm)

Es tracta d'un ARN **lineal** que conté la informació, **copiada de l'ADN**, per sintetitzar una proteïna.

Es forma en el nucli cel·lular, a partir d'una seqüència d'ADN. Després surt del nucli i s'associa a ribosomes, on es construeix la proteïna.

Cada tres nucleòtids (codó) correspon a un aminoàcid diferent. Així, la seqüència d'aminoàcids de la proteïna està configurada a partir de la seqüència dels nucleòtids de l'ARNm.

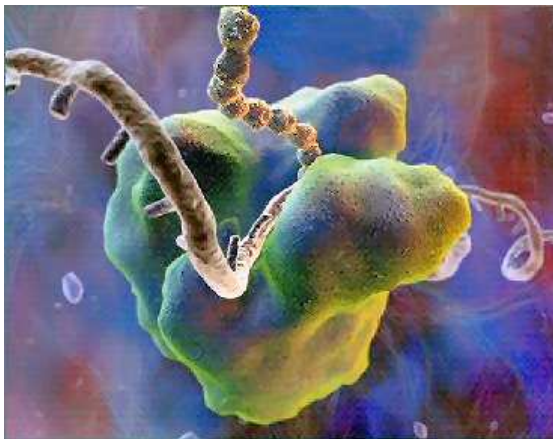


L'ARNm de les cèl·lules eucariotes es forma a partir d'un ARNm previ anomenat **ARN heteronuclear** o **heterogeni nuclear** (ARNhn), que té una sèrie de segments amb informació, anomenats **exons**, alternats amb altres segments sense informació, anomenats **introns**, que després són suprimits i no apareixen en l'ARNm madur.

ARN ribosòmic (ARNr)

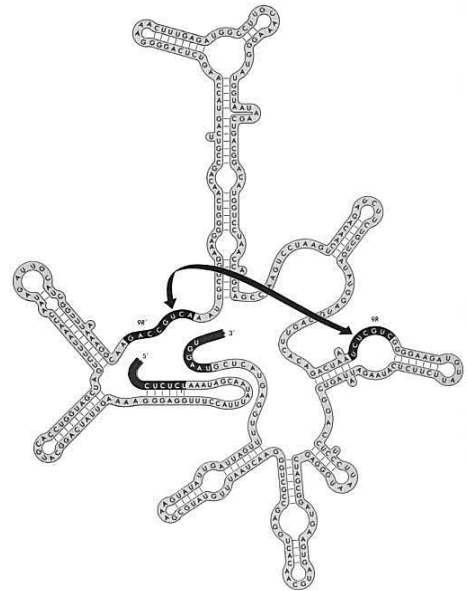
L'ARN ribosòmic o ribosomal, unit a proteïnes, forma els **ribosomes**, que són les estructures cel·lulars on s'uneixen aminoàcids per formar proteïnes, a partir de la informació que transmet l'ARN missatger.

L'ARNr se sintetitza a partir d'un ARN precursor anomenat **ARN nucleolar** (ARNn) i adquireix una estructura secundària en plegar-se sobre sí mateix i formar bucles.



Ribosoma fabricant una proteïna

Estructura de l'ARN ribosòmic

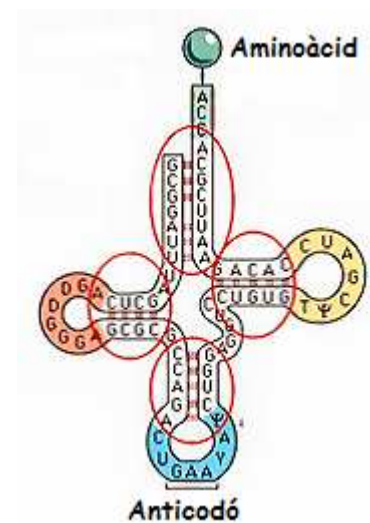


Hi ha **dos tipus de ribosomes**, un que es troba en cèl·lules procariotes i a l'interior de mitocondris i cloroplasts; i un altre que es troba al citoplasma o al reticle endoplasmàtic de cèl·lules eucariotes.

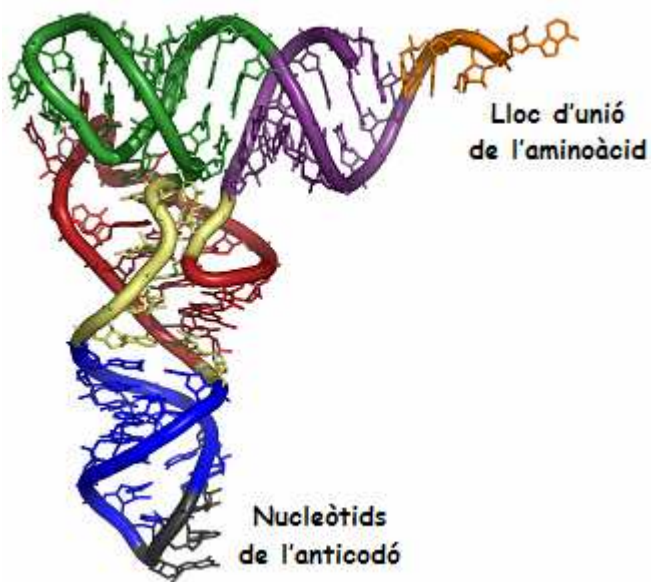
ARN de transferència o transfer (ARNt)

L'ARN de transferència és un ARN no lineal, en el que es poden observar trams de doble hèlix intracatenària, és a dir, entre les bases que són complementàries, dins de la mateixa cadena. Aquesta estructura s'estabilitza mitjançant ponts d'hidrogen.

A més dels nucleòtids d'adenina, guanina, citosina i uracil, l'ARN de transferència presenta altres nucleòtids amb **bases modificades**. Aquests nucleòtids no poden emparellar-se, i la seva existència genera punts d'apertura en l'hèlix, produint bucles.



Esquema d'un ARNt ►



Estructura d'un ARNt

A l'ARNt es distingeixen diversos trams o braços. En un d'ells, apareix una seqüència de tres nucleòtids, anomenada **anticodó**. Aquesta seqüència és complementària amb una seqüència de l'ARNm, el **codó**. En el braç oposat s'uneix un **aminoàcid específic** de la seqüència d'anticodó.

La funció de l'ARNt consisteix en unir-se en el ribosoma a la seqüència complementària de l'ARNm, mitjançant l'anticodó. A la vegada, **transfereix l'aminoàcid corresponent** a la seqüència d'aminoàcids que està formant-se en el ribosoma.



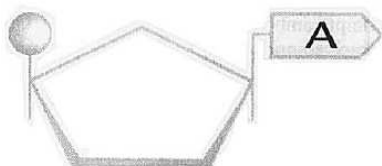
activitats proposades

- 1** El següent esquema mostra diferents nivells d'organització de l'ADN.



- Indica el nom de les diferents estructures que s'hi observen.
- Amb quina finalitat l'ADN forma totes aquestes estructures?
- Com, quan i on podem observar l'última estructura?

- 2** Determina què representa l'esquema següent, indica les molècules que apareixen, com s'enllacen entre elles i amb altres estructures com aquesta.



3 En un ADN bicatenari s'ha trobat que en el total de bases nitrogenades hi ha un 23% d'adenina. Quins són els percentatges de les altres bases? Justifica la teva resposta.

4 El material genètic dels virus pot ser ADN, de cadena senzilla o doble o ARN de cadena senzilla o doble.

En la taula següent s'indica la proporció de les bases nitrogenades trobades en l'àcid nucleic de quatre virus diferents:

	A	G	T	C	A/T
Virus 1	23 %	27 %	23 %	27 %	-
Virus 2	23 %	23 %	27 %	27 %	-
Virus 3	-	-	-	-	1
Virus 4	-	-	-	-	0,67
Virus 5	22 %	19 %	0 %	26 %	-
Virus 6	28 %	22 %	0 %	22 %	-

Per cada virus, determina el tipus de material genètic que conté i si és de cadena senzilla o doble. Justifica les teves conclusions.

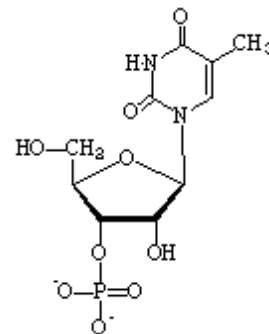
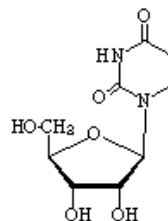
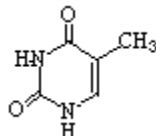
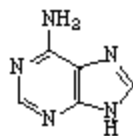
Virus	Tipus material genètic i justificació
①	
②	
③	
④	
⑤	
⑥	

5 Indica les diferències entre l'ADN i l'ARN segons la taula següent:

	ADN	ARN
Mida		
Estructura		
Localització		
Tipus de pentosa		
Bases nitrogenades		
Funció		

6 Identifica entre les molècules següents:

- a) Un nucleòsid.
- b) Un nucleòtid.
- c) Una base pirimidínica.
- d) Una base púrica.



7 Indica i justifica quina és la parella complementària del següent fragment d'àcid nucleic necessària per formar una molècula d'ADN de doble cadena:

5' TACTGAAC 3'

- a) 5' CAAGTCAT 3'
- b) 5' ATGACTTG 3'
- c) 5' GTTCAGTA 3'
- d) 5' TACTGAAC 3'

- 8** Quina molècula creus que és més estable: l'ADN o l'ARN? Per què?
- 9** Quan la cèl·lula es vol dividir, quin procés ha de fer l'ADN perquè cada cèl·lula filla rebi la informació que ella conté? Explica'l breument i digues a quina part de la cèl·lula es produeix.
- 10** Fes un esquema o taula en què es relacionin els tipus d'ARN, els llocs on es troben i la funció que tenen.



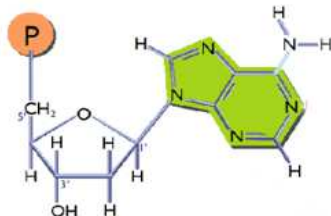
TEST: Àcids Nucleics

Indica la resposta correcta.

1. Quina d'aquestes molècules no forma part de l'ADN?

a	Àcid fosfòric.
b	Ribosa.
c	Citosina.
d	Timina.
e	Desoxiribosa.

2. Com es diu la següent molècula:



a	ADN.
b	Nucleòtid.
c	Desoxiribosa.
d	Cromatina.
e	Aminoàcid.

3. La cromatina:

a	Es troba al nucli de les cèl·lules.
b	Químicament està formada per ADN i proteïnes.
c	Es pot condensar en forma de cromosomes.
d	Inclou informació per fabricar proteïnes.
e	Totes les anteriors són correctes.

4. Les histones:

a	Serveixen per enrotllar la cèl·lula.
b	Ajuden a formar l'hèlix d'ADN.
c	Són cèl·lules procariotes.
d	Són bases nitrogenades de l'ADN.
e	Cap de les anteriors és correcta.

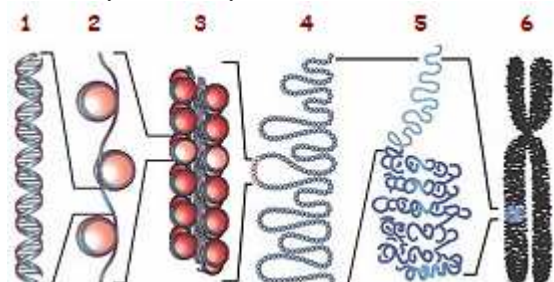
5. La parella de bases correcta és:

a	T - C
b	C - A
c	G - A
d	T - G
e	A - U

6. En l'ARN no trobem:

a	Adenina i uracil.
b	Timina i ribosa.
c	Ribosa i uracil.
d	Desoxiribosa i àcid fosfòric.
e	Timina i desoxiribosa.

7. L'estructura 2 del següent esquema representa:



a	Un cromosoma.
b	La doble hèlix de l'ADN.
c	Un ARN missatger.
d	El collaret de perles de l'ADN.
e	Un conjunt de ribosomes.

8. L'estructura 6 de l'esquema anterior representa:

a	Un cromosoma.
b	La doble hèlix de l'ADN.
c	Un ARN de transferència.
d	La replicació de l'ADN.
e	Una cèl·lula procariota.

9. En tota molècula d'ADN es compleix, en general, la relació:

a	$A + G = T + C$
b	$A + T = G + C$
c	$A = C$
d	$T = G$
e	$A / G = 1$

10. El model de doble hèlix de l'ADN pressuposa l'existència de:

a	Dues cadenes polinucleòtides.
b	L'enrotllament en espiral.
c	Dues cadenes complementàries.
d	Ponts d'hidrogen entre les bases.
e	Totes les anteriors són correctes.

11. Un nucleòtid està sempre format per:

a	Fosfat i nucleòsid.
b	Nucleòsid i pentosa.
c	Fosfat, pentosa i base púrica.
d	Base nitrogenada i nucleòsid.
e	Fosfat, ribosa i base nitrogenada.

12. Una d'aquestes característiques no és pròpia de l'ADN:

a	És una substància hidrolitzable.
b	Es troba al nucli de les cèl·lules.
c	Conté la informació genètica.
d	Pot replicar-se.
e	Té funció energètica.

13. En una doble hèlix d'ADN la proporció d'adenina és del 30%. Quin és el percentatge de citosina?

a	20 %
b	30 %
c	60 %
d	70 %
e	No hi ha citosina en els ADN.

14. La informació genètica en eucariotes es transportada des del nucli al citoplasma per l':

a	ARNr.
b	ARNt.
c	ARNm.
d	ARNhn.
e	ADN.

15. Indica l'afirmació INCORRECTA respecte de l'ADN:

a	La seva composició varia d'una espècie a una altra.
b	Es troba en mitocondris i cloroplasts.
c	Es troba com a molècula circular en bacteris.
d	Conté la informació per fabricar proteïnes.
e	Constitueix els plàsmids dels bacteris.