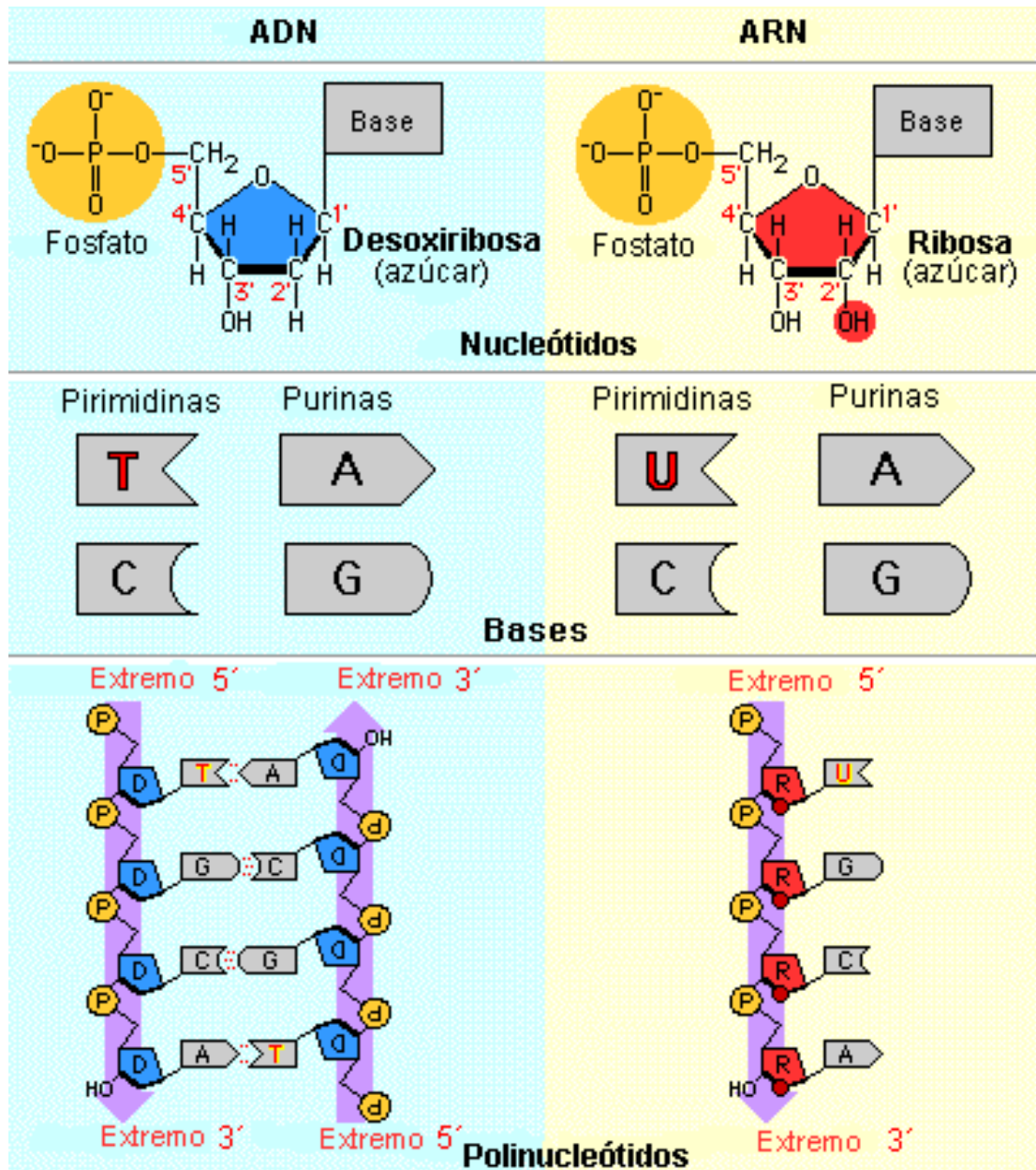


# Els àcids nucleics



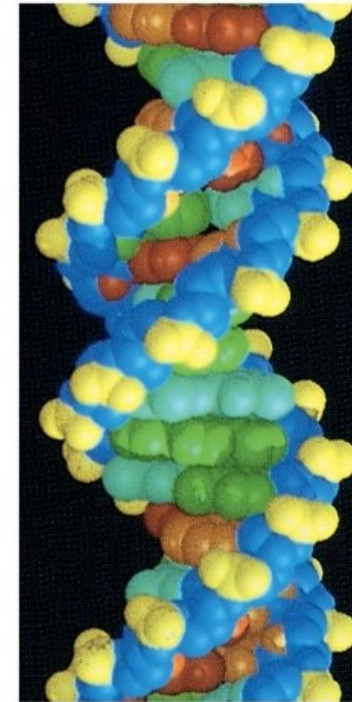
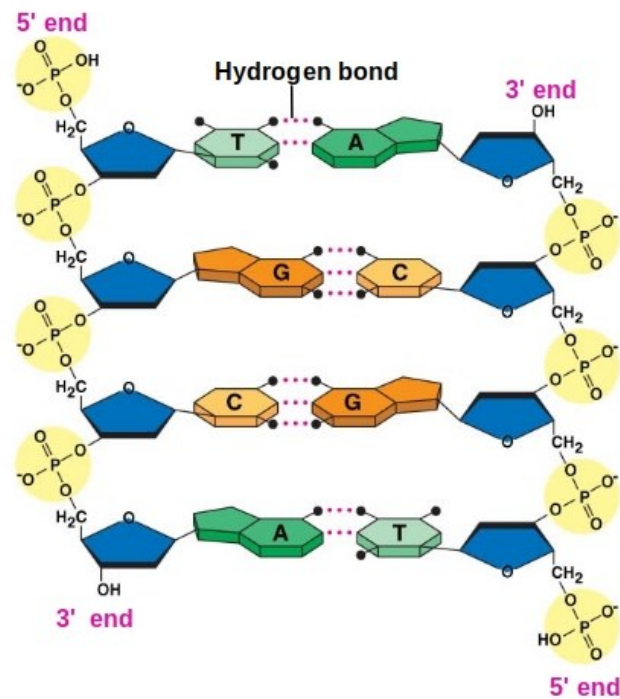
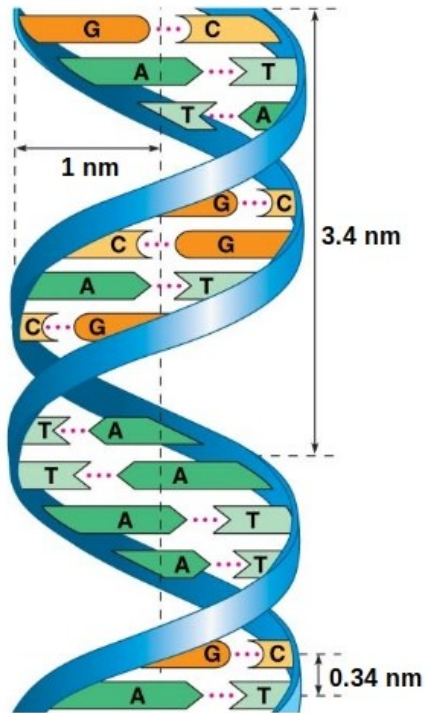
# Àcids nucleics

- Composició química
- **L'àcid desoxiribonucleic (DNA)**
- L'àcid ribonucleic (RNA)



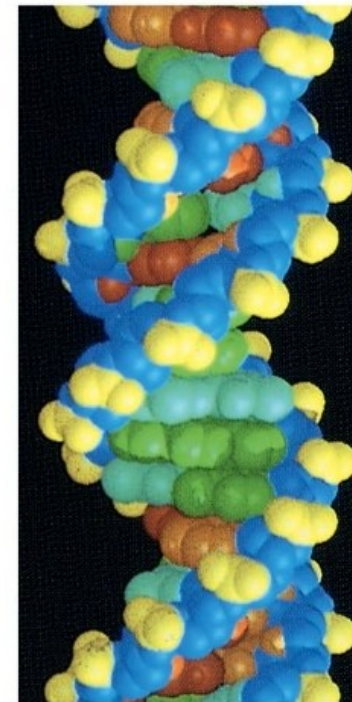
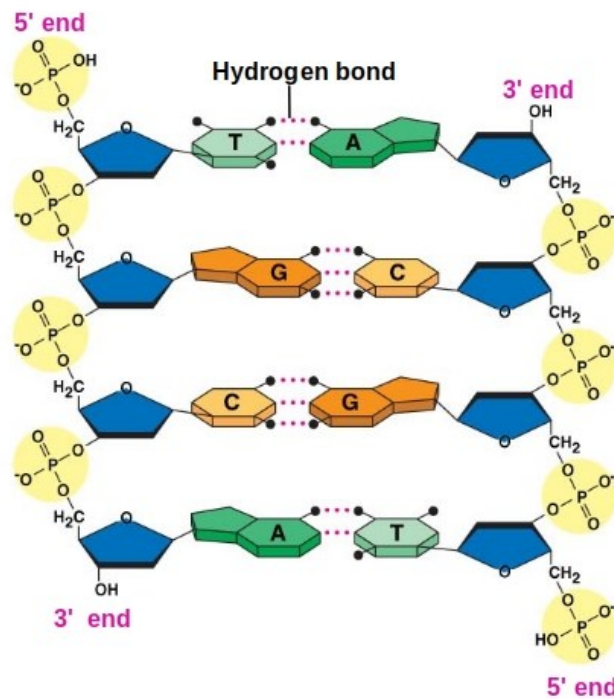
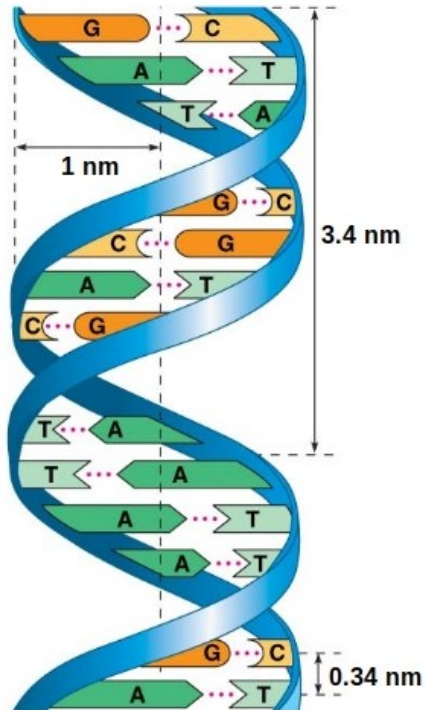
# L'àcid desoxiribonucleic (DNA)

Molècula encarregada d'emmagatzemar la informació biològica dels organismes i transmetre-la a la descendència.



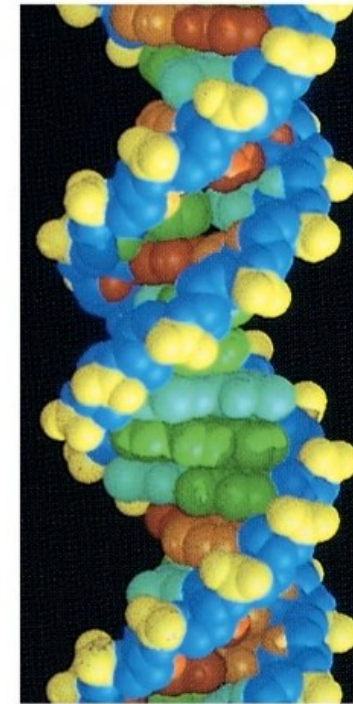
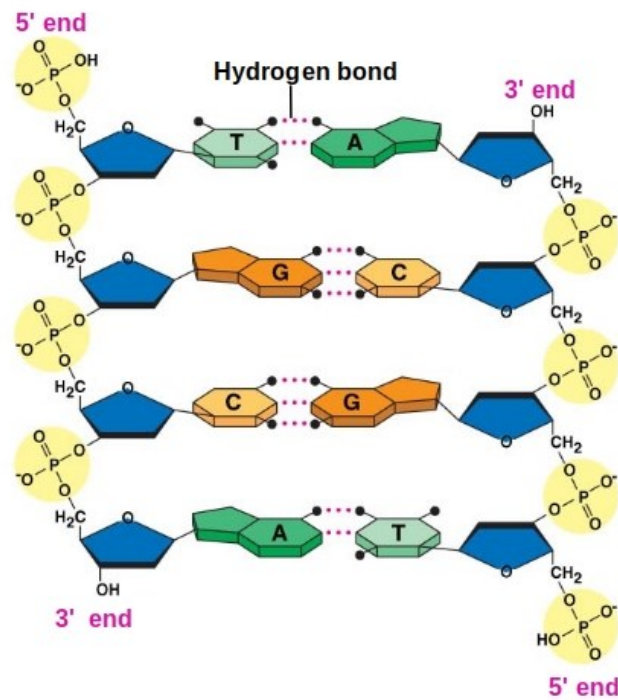
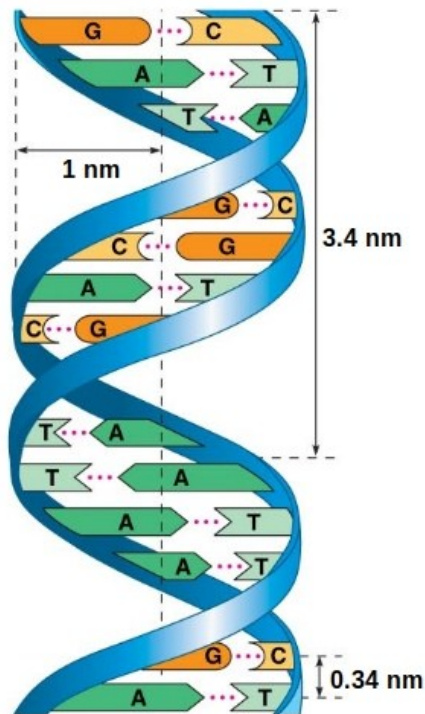
# L'àcid desoxiribonucleic (DNA): estructura

- El DNA està format per dues cadenes de nucleòtids enrotllades formant una doble hèlix: **estructura bicatenària**.
- Cada cadena és un polímer de desoxinucleòtids d'adenina, timina, guanina i citosina.
- Alguns virus presenten DNA monocatenari.



# L'àcid desoxiribonucleic (DNA): pes molecular

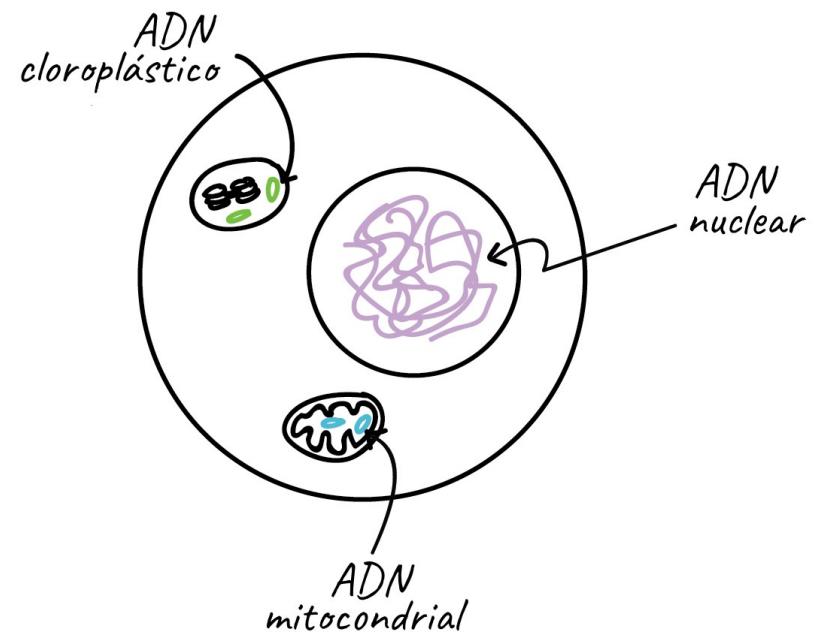
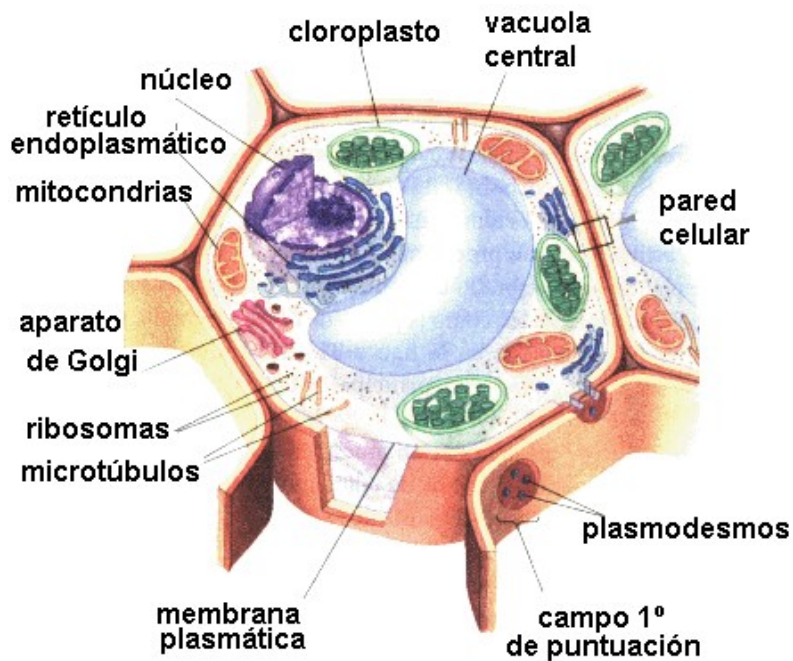
- El DNA te un pes molecular **molt elevat**.
- En el cas de l'ésser humà, és de 3,6 bilions de daltons i conté 5.600 milions de parells de nucleòtids.



# L'àcid desoxiribonucleic (DNA): localització

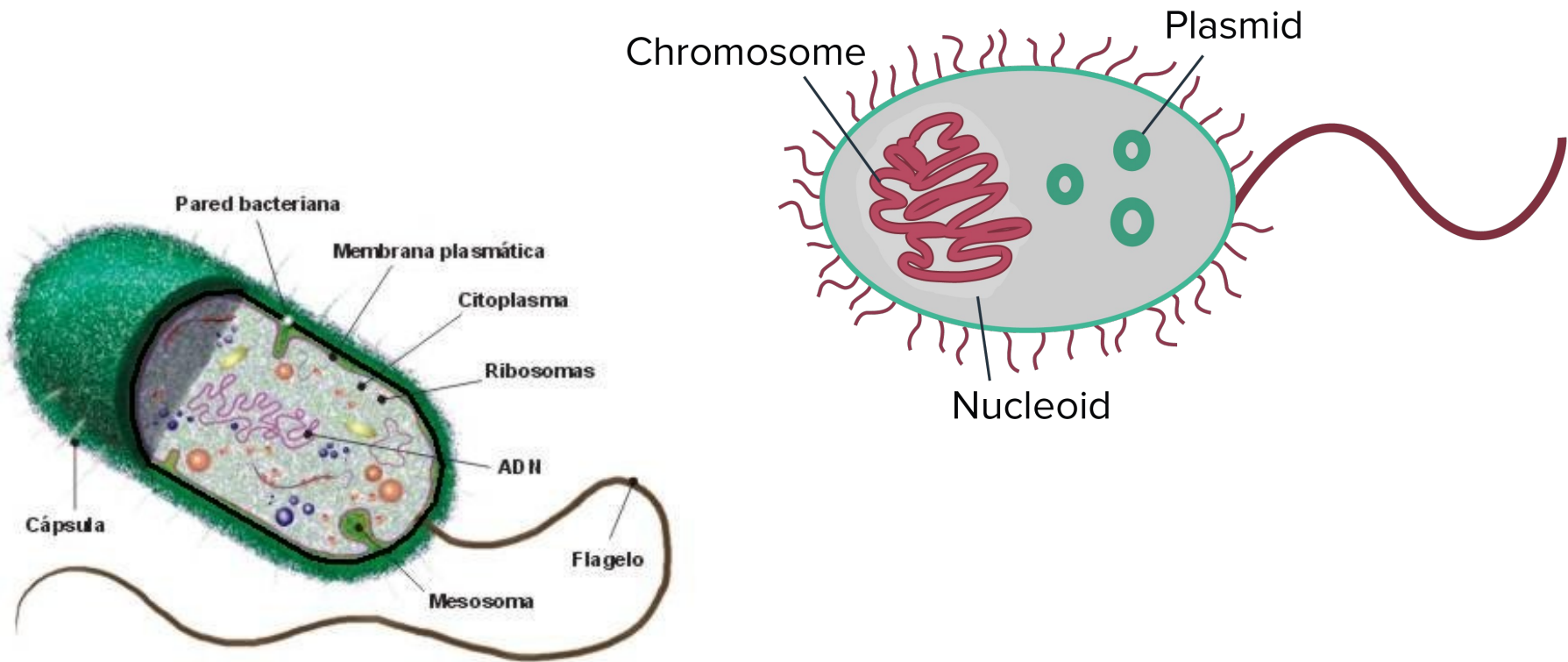
Localització:

En eucariotes: **nucli**, **cloroplasts** i **mitocondris**.



Localització:

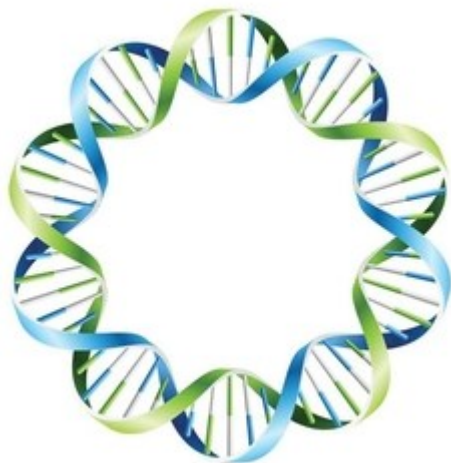
**En procariotes: disperss pel citoplasma.**





# L'àcid desoxiribonucleic (DNA): forma

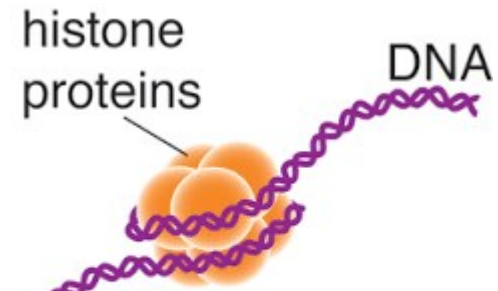
- **Circular:** el DNA dels cloroplasts, el dels mitocondris, el dels bacteris i el d'alguns virus.
- **Lineal:** el DNA del nucli i el d'alguns virus.

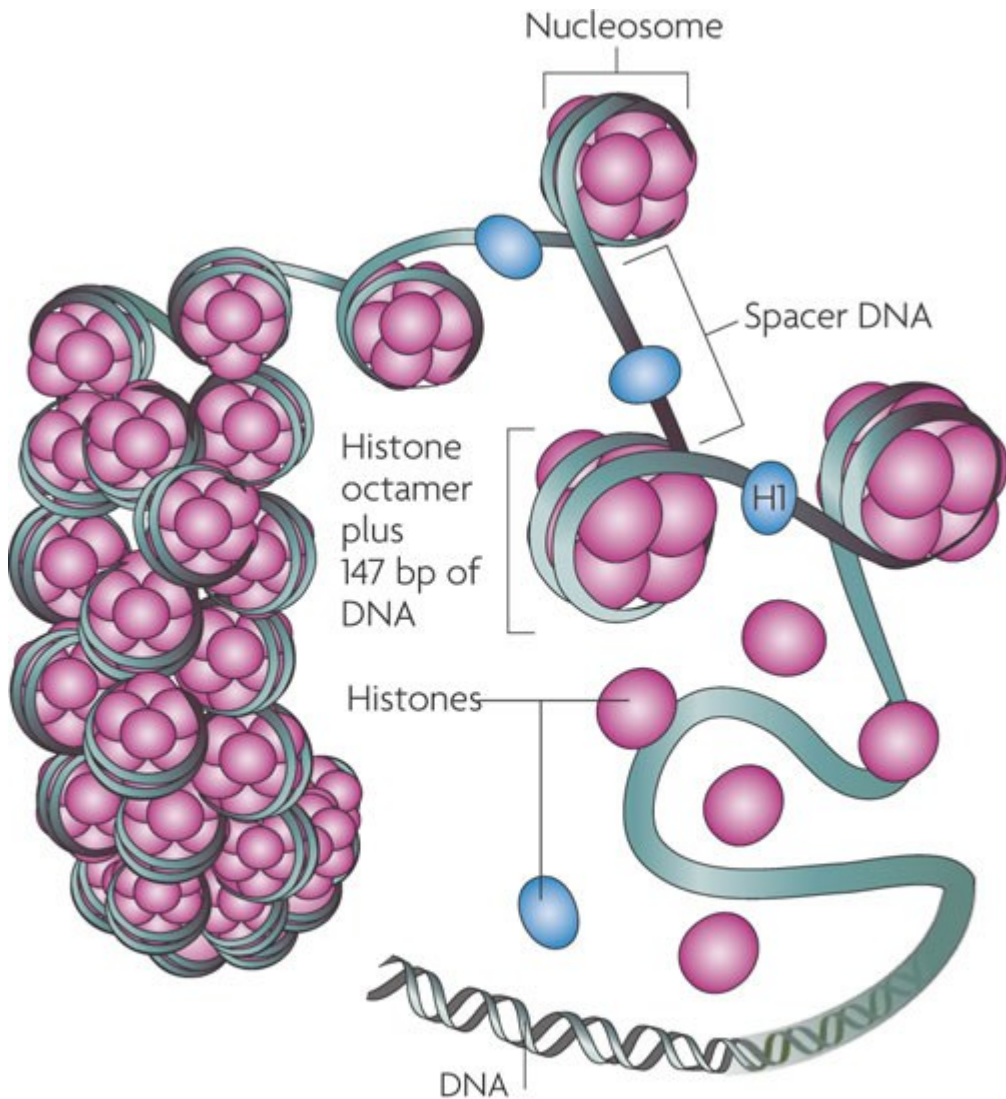


# L'àcid desoxiribonucleic (DNA):

## empaquetament: associació amb proteïnes

- El DNA nuclear:
  - Associat a **histones** i a proteïnes no històniques en totes les cèl·lules eucariotes excepte en espermatozoides.
  - Associat a **protamines** en espermatozoides.
- El DNA dels cloroplast, dels mitocondris i dels bacteris:
  - Associat a proteïnes similars a les histones, a molècules de RNA i a proteïnes no històniques.
- El DNA d'alguns virus també conté proteïnes bàsiques associades.





Les histones són responsables de l'empaquetament del DNA i reduir-ne així la seva longitud. Són proteïnes de caràcter bàsic. Presenten una gran quantitat d'aminoàcids carregats positivament (lisina i arginina) que els uneixen fortament al DNA que té càrrega negativa.

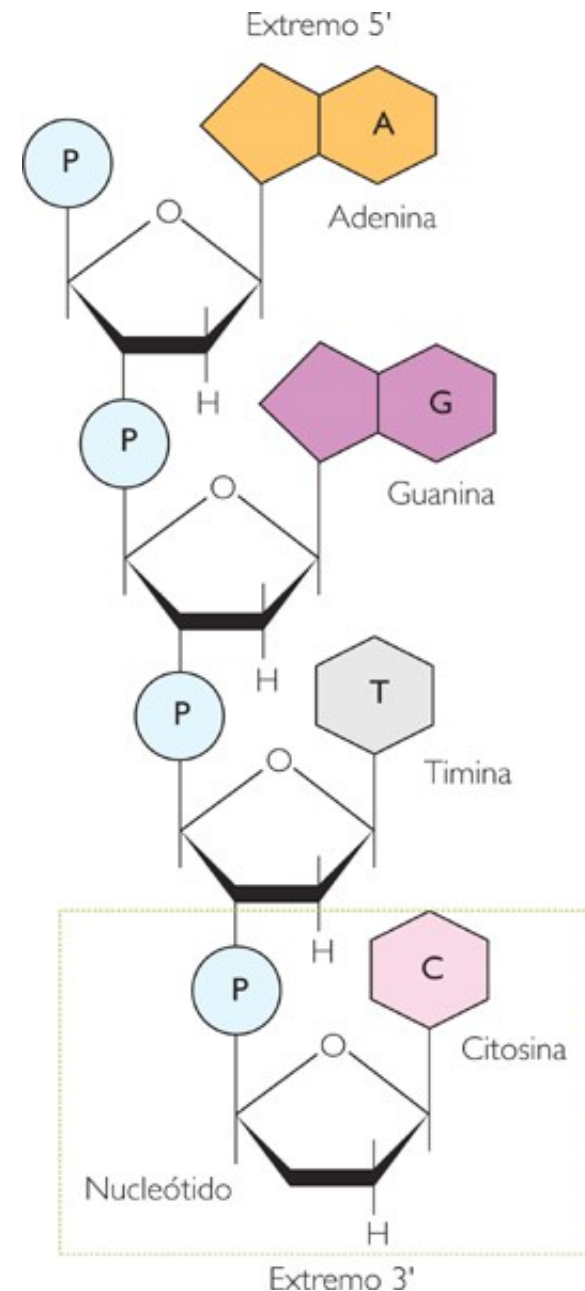
# Nivells estructurals i d'empaquetament del DNA

- Estructura primària: seqüència de nucleòtids.
- Estructura secundària: doble hèlix.
- Estructura terciària: DNA superenrotllat i empaquetat amb proteïnes. Diferents nivells d'empaquetament.

# Estructura primària

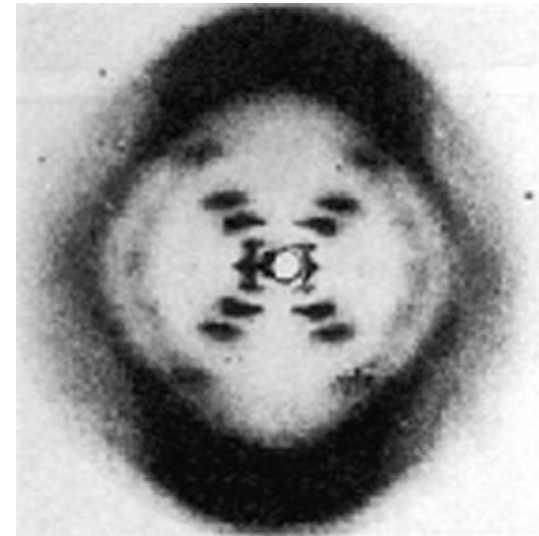
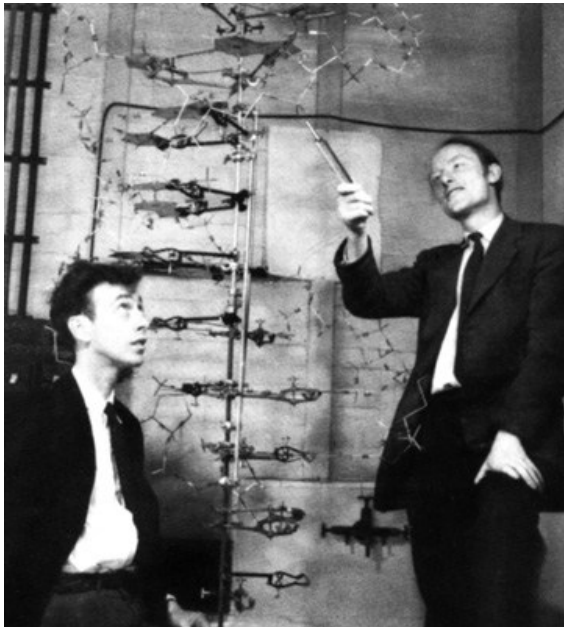
- Seqüència de nucleòtids d'una sola cadena o filament.
- El nombre de filaments diferents que es poden formar combinant els quatre tipus de nucleòtids (A,G,C,T,) és molt elevat i permet emmagatzemar la **informació genètica** o **missatge biològic**.
- El % de A,G,C,T és el mateix per a tots els individus de la mateixa espècie.
- Per indicar la seqüència d'una cadena, a la pràctica és suficient en posar l'inicial de les bases (A,T, C, G) en l'ordre correcte i els extrems 5' i 3' de la cadena. Per exemple:

5' ACGTTTAACGACAAGTATTAAG 3'



# Estructura secundària: doble hèlix

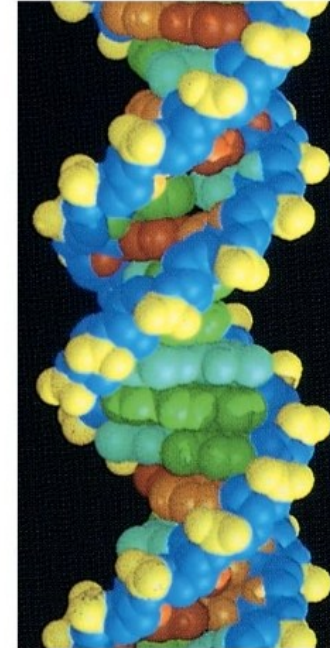
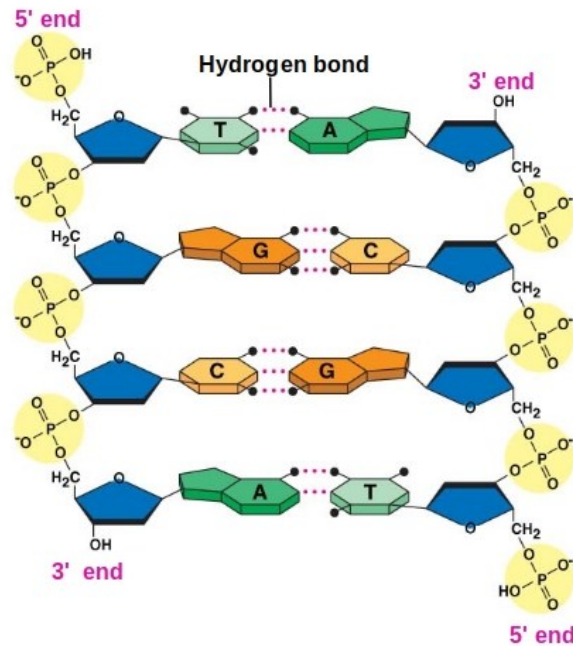
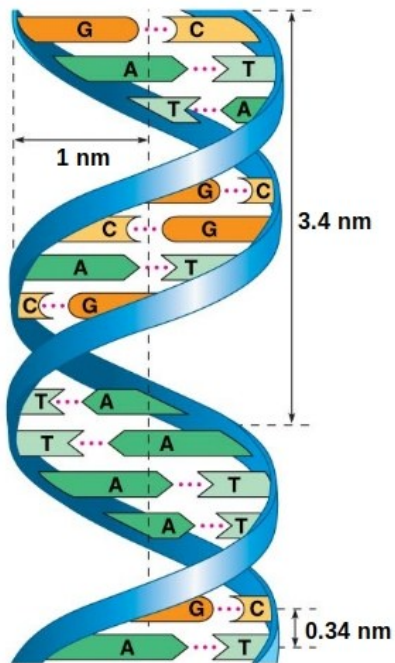
- Disposició a l'espai de dues cadenes de nucleòtids enrotllades en doble hèlix, amb les bases nitrogenades enfrontades i unides mitjançant enllaços d'hidrogen.
- Proposada el 1953 per Watson i Crick a partir de fotografia de difracció de rajos X de Rosalind Franklin.



## Característiques de la doble hèlix

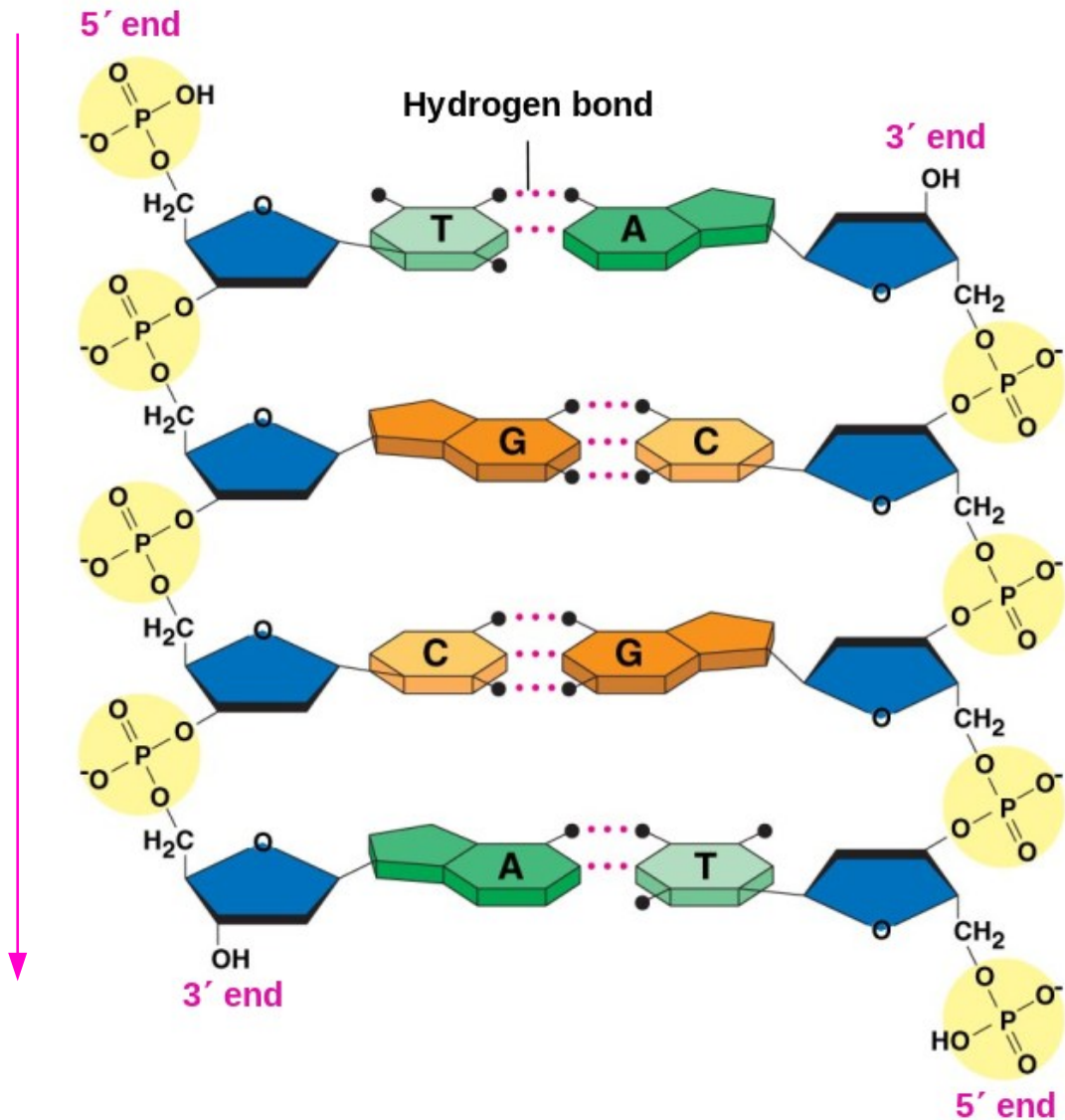
La doble hèlix està formada per dues cadenes de nucleòtids enrotllades al voltant d'un eix imaginari. Les bases nitrogenades es troben cap a l'interior de la doble hèlix perpendiculars a l'eix de l'hèlix i les pentoses i els fosfats cap a l'exterior.

Les dues cadenes que formen la **doble hèlix** són **complementàries**, **antiparal·leles**, es troben enrotllades de forma **plectonímica** i el sentit de l'enrotllament és **dextrògir**.



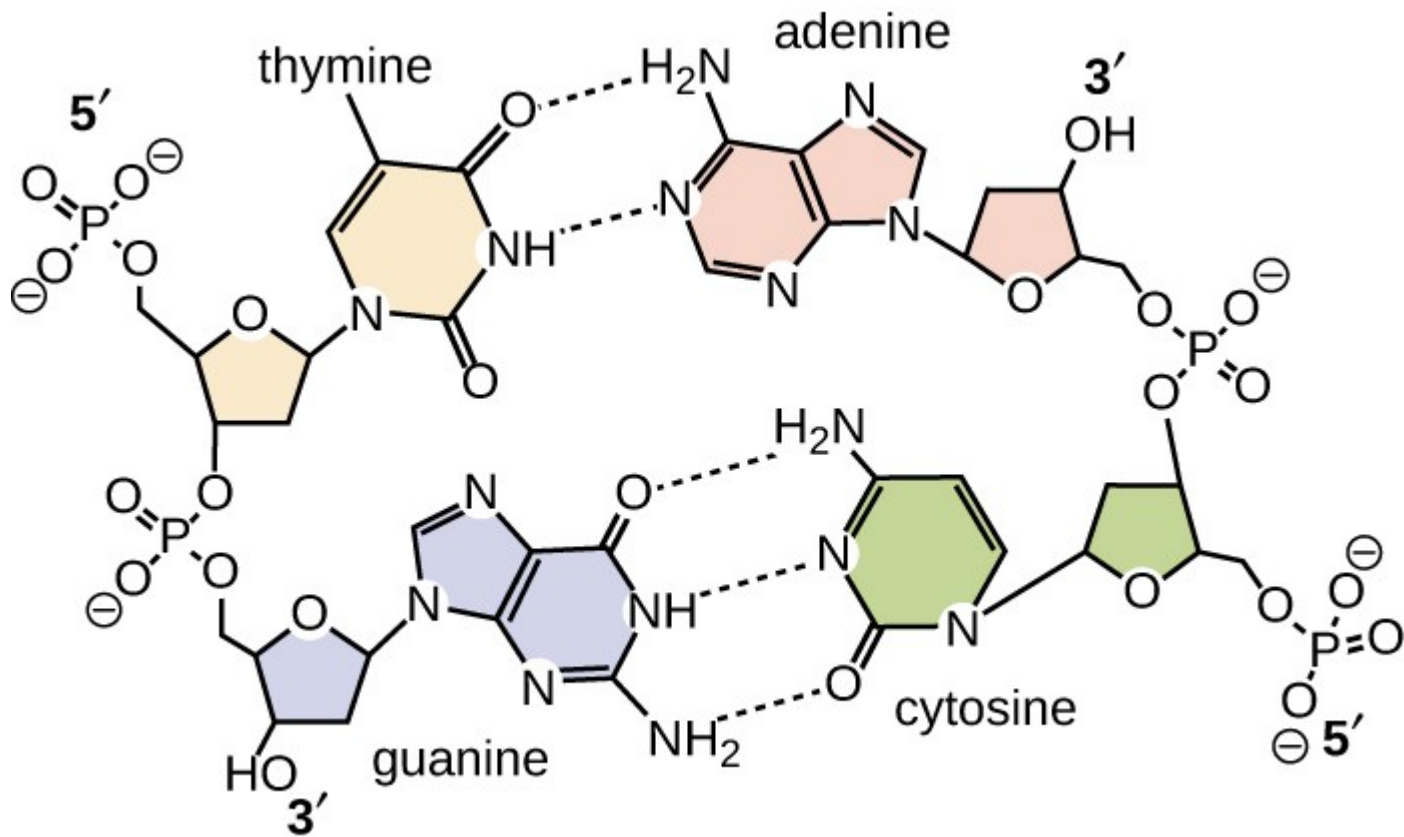
Les cadenes que formen la doble hèlix són **complementàries**. La seqüència de bases de cada cadena és diferent; quan en un filament hi ha adenina, a l'altre hi ha timina; quan en un filament hi ha guanina, a l'altre hi ha citosina.

L'adenina es troba unida a la timina mitjançant dos ponts d'hidrogen i la guanina a la citosina mitjançant tres ponts d'hidrogen.



Les cadenes que formen la doble hèlix són **antiparal·leles**. Tot i que cadascuna es troba en direcció 5'→3' estan orientades en sentit diferent.

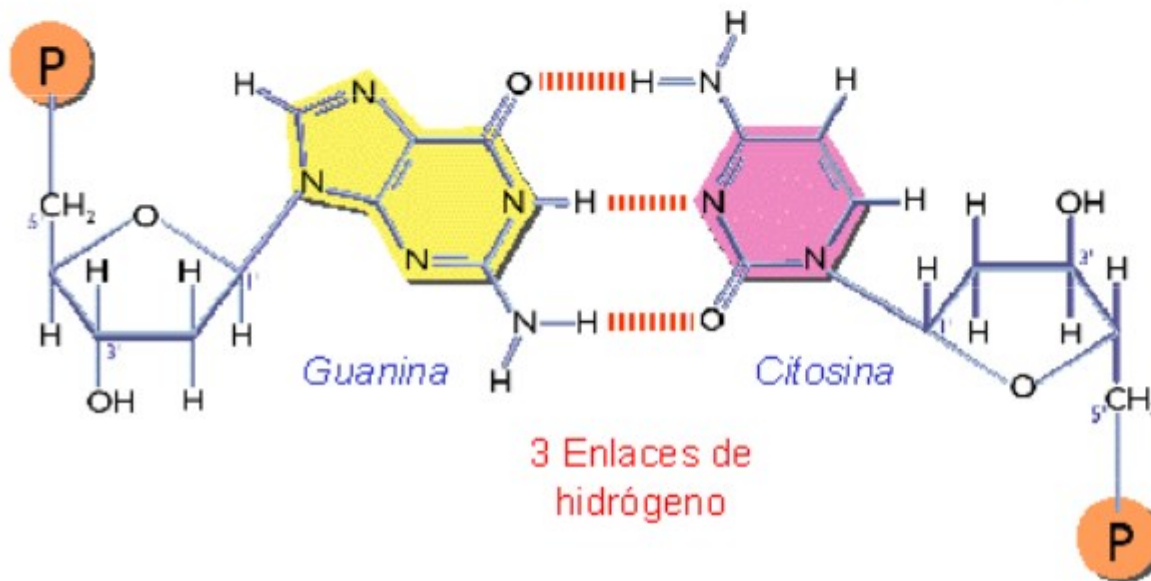
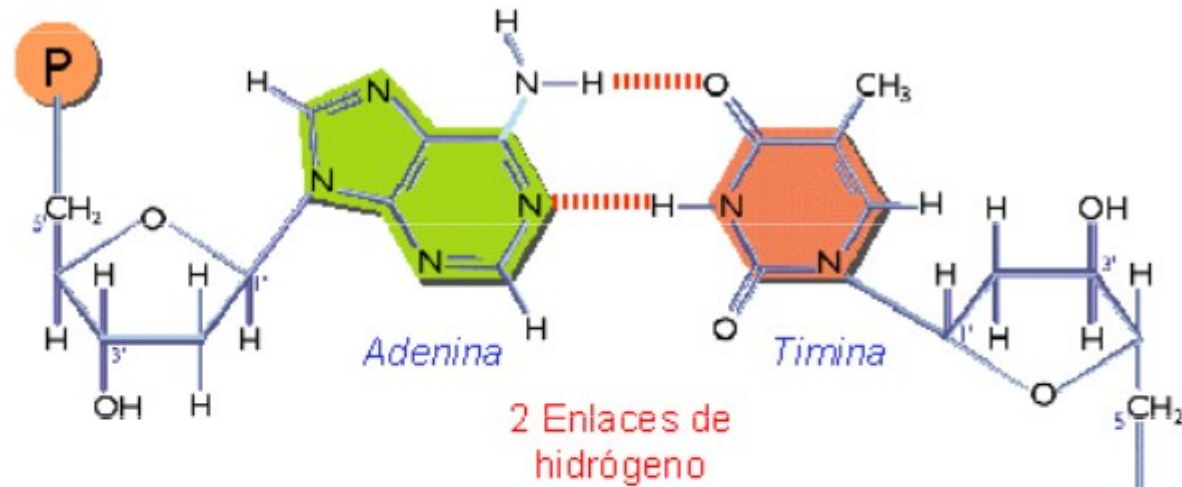




Les bases nitrogenades d'una cadena es troben unides amb les bases de l'altra cadena mitjançant ponts d'hidrogen entre els grups NH<sub>2</sub>, CO i NH.

# Complementariedad entre las bases

Las bases de ambas cadenas se mantienen unidas por enlaces de hidrógeno.



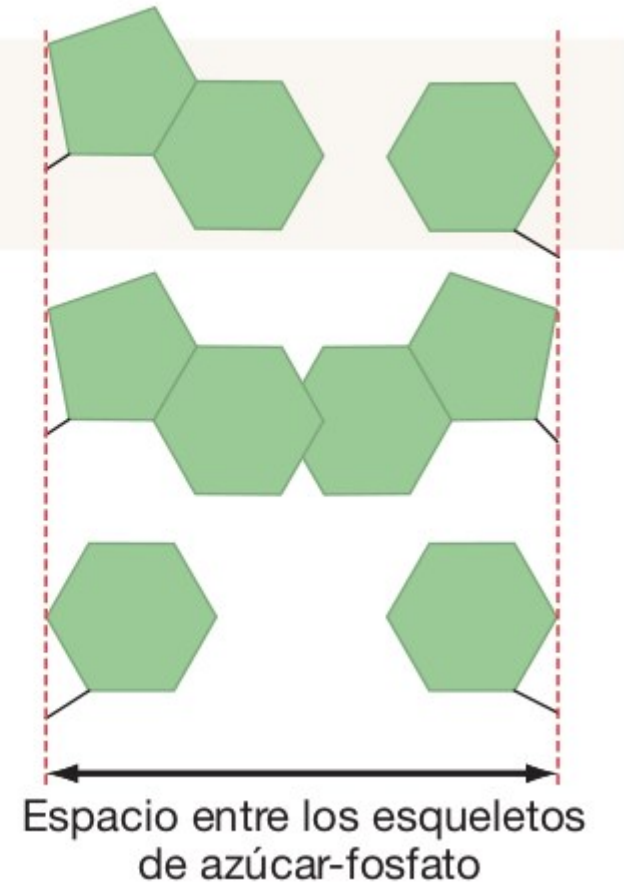
El número de enlaces de hidrógeno depende de la complementariedad de las bases.

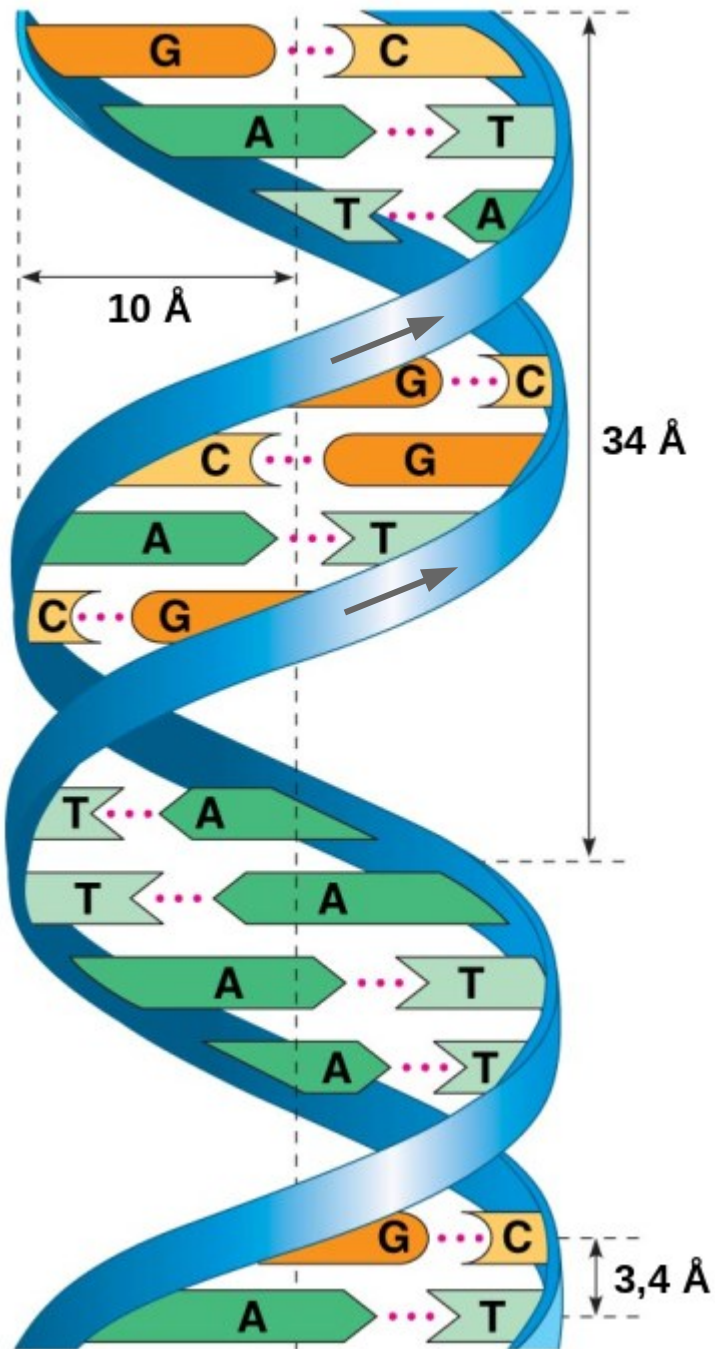
Sólo las parejas purina-pirimidina caben dentro de la doble hélice.

Pareja purina-pirimidina  
PERFECTO

Pareja purina-purina  
NO HAY ESPACIO SUFICIENTE

Pareja pirimidina-pirimidina  
QUEDA DEMASIADO  
ESPACIO LIBRE





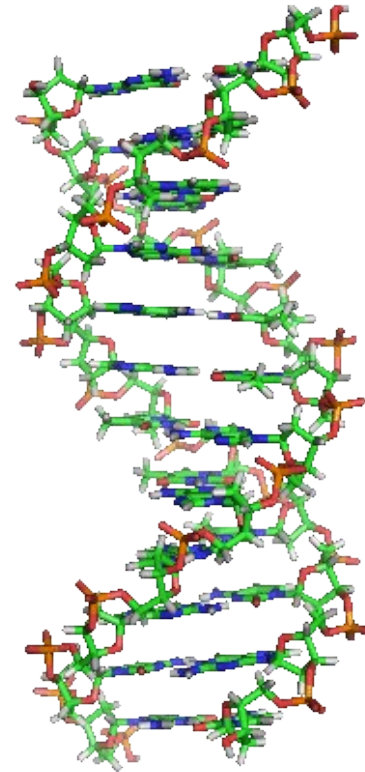
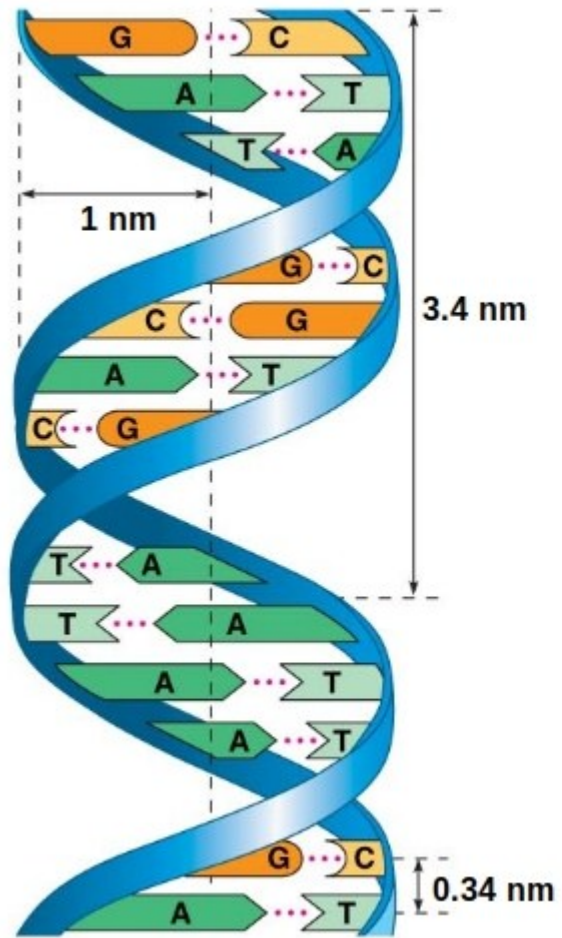
Diàmetre de la doble hèlix: 20 Å

Distància entre els nucleòtids: 3,4 Å

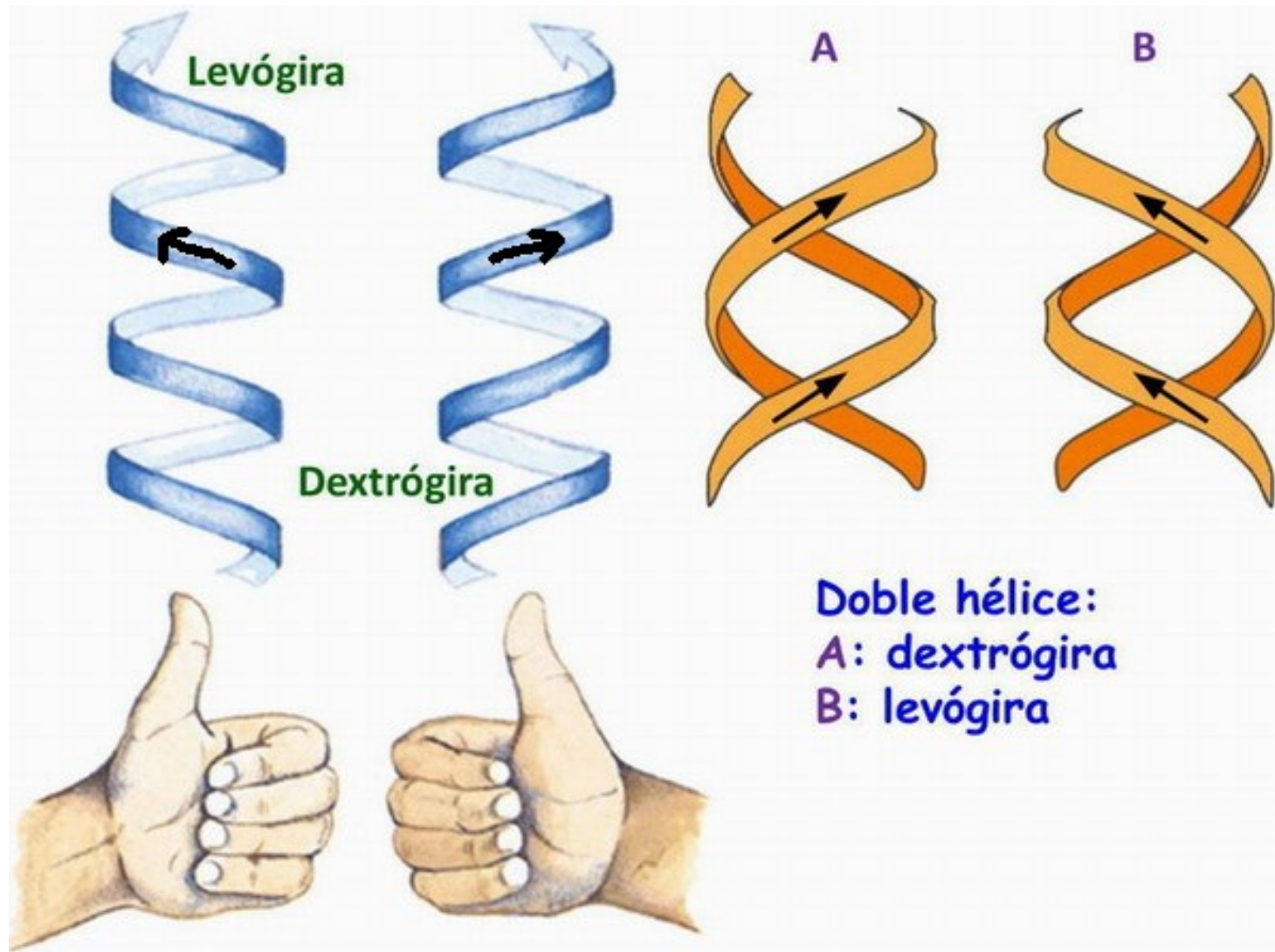
1 volta complerta de la hèlix: 34 Å

Nombre de nucleòtids per volta: 10

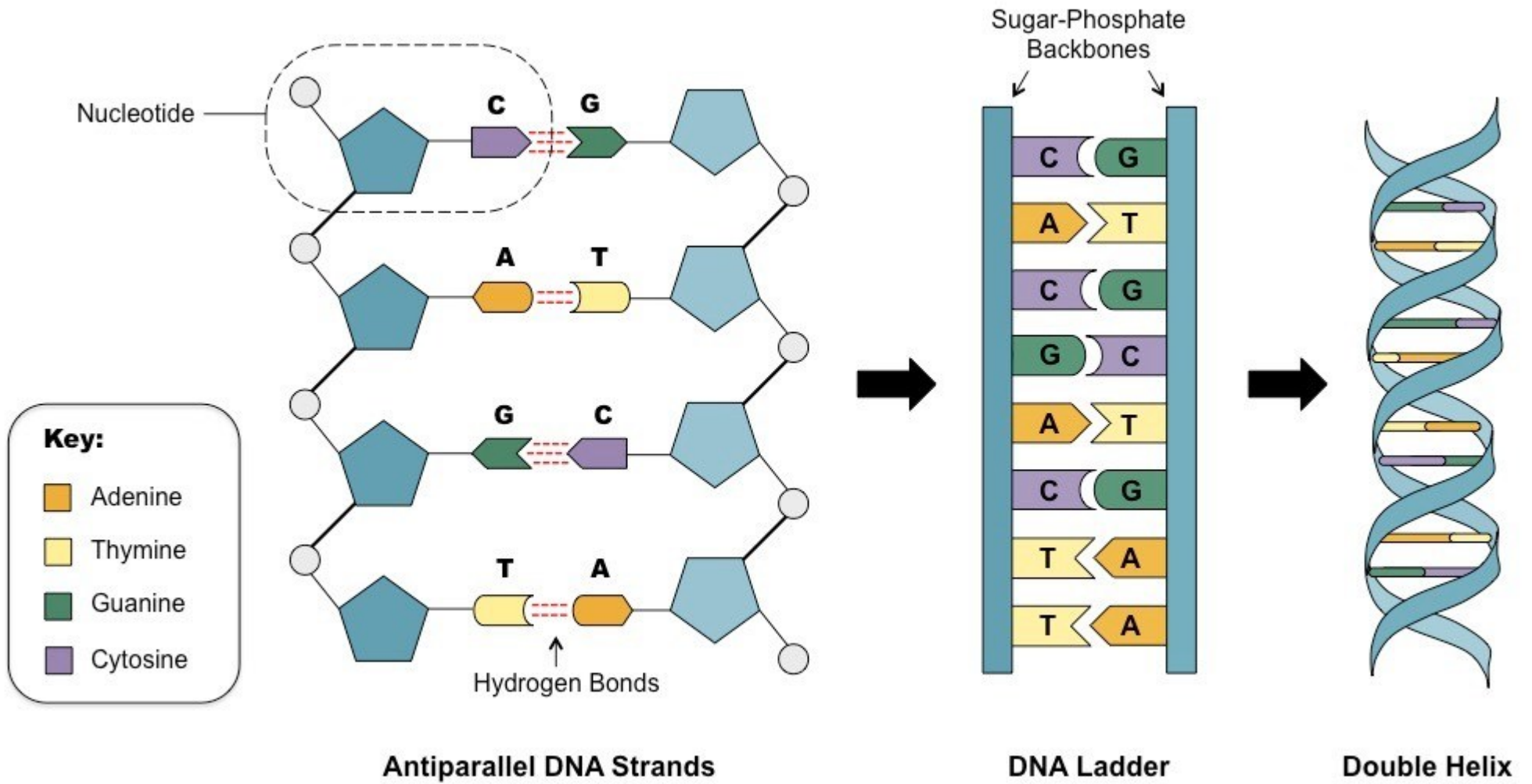
L'enrotllament de les dues cadenes és **dextrògiri**, és a dir, en sentit de les agulles del rellotge i **plectonímic**, és a dir, no es poden separar sense desenrotllar-se.

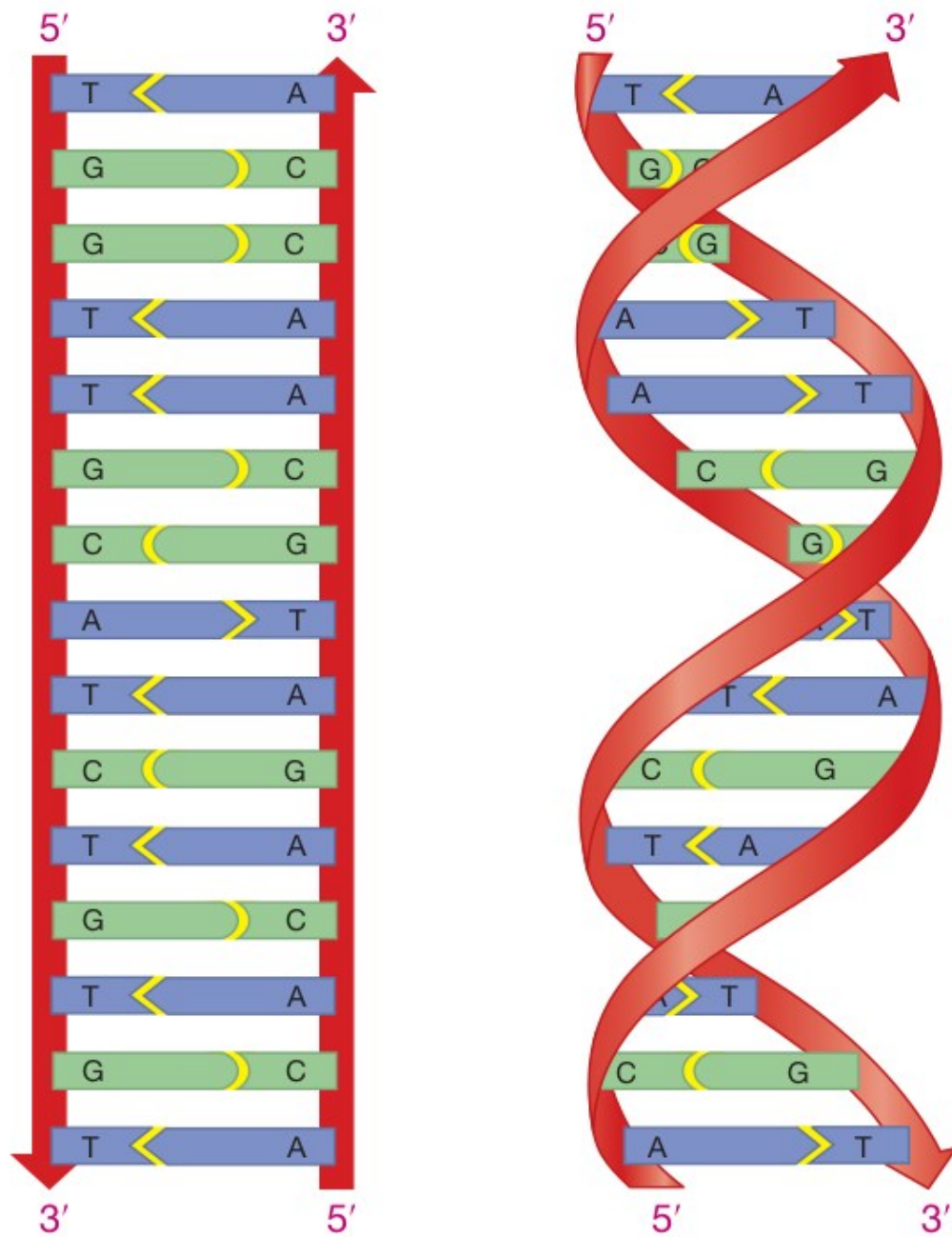


La doble hèlix  
és dextrògira



Mientras el pulgar apunta hacia donde la hélice avanza, los demás dedos se curvan en la dirección de giro de la hélice.



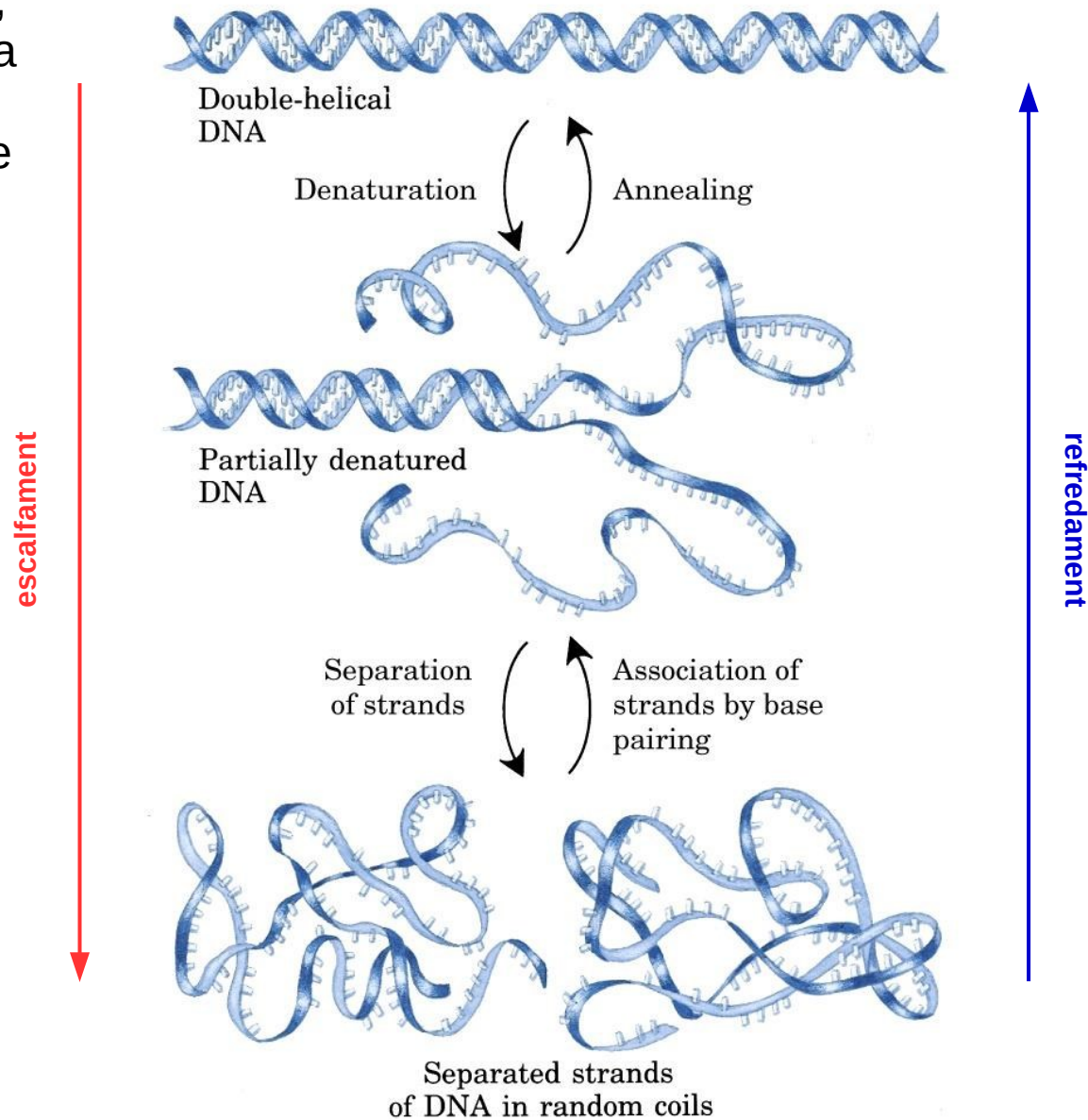


La estructura secundaria del DNA es una doble hélice. El emparejamiento de bases complementarias es el responsable de enrollar el DNA en una doble hélice.



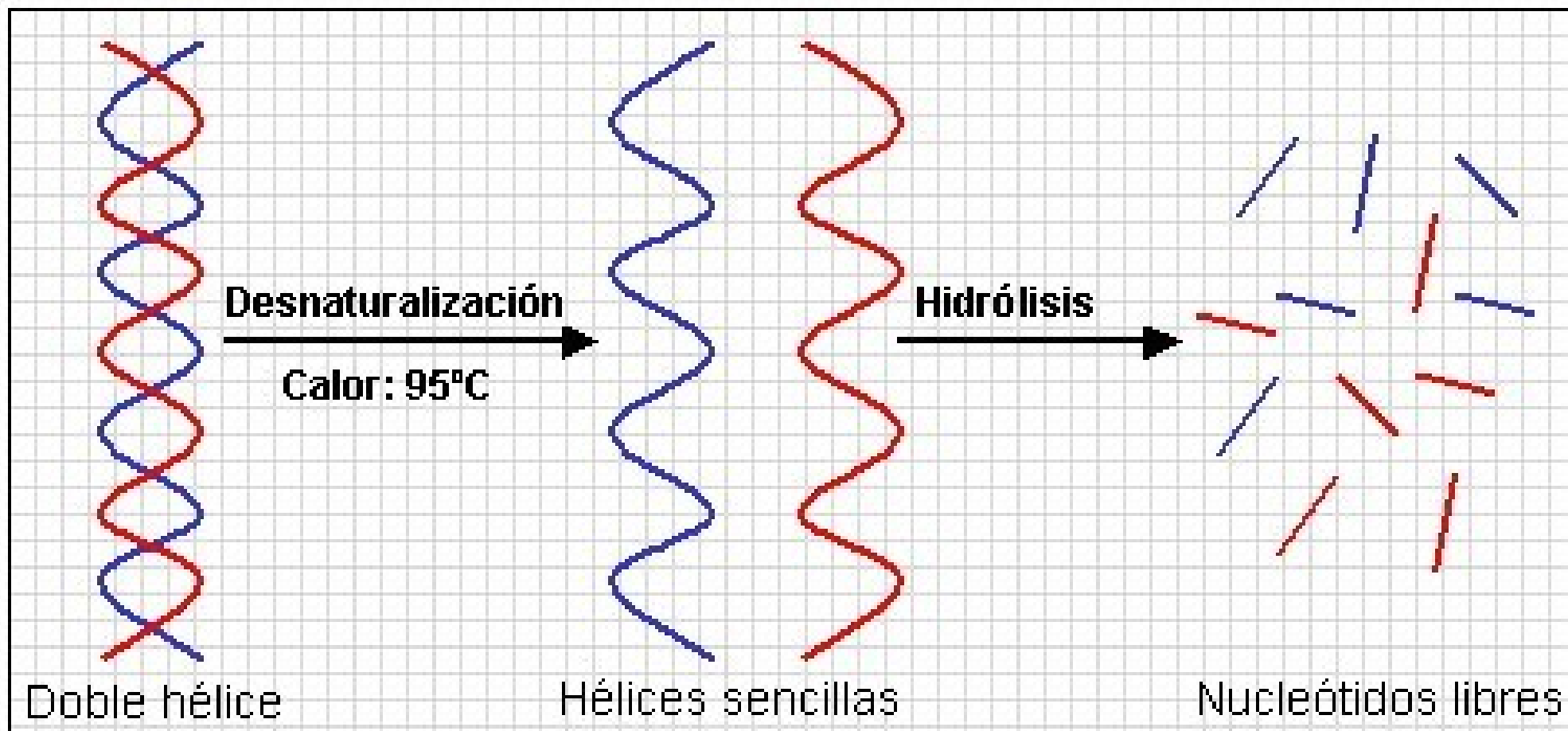
## Desnaturalització

Si el DNA s'escalfa, quan la temperatura arriba a uns 100°C, els dos filaments de la doble hèlix se separen.



## Renaturalització:

Si el DNA desnaturalitzat es refreda, quan arriba a 65°C, els dos filaments tornen a unir-se.



# Recorda!!

**1mm = 1.000  $\mu\text{m}$  (micra)**

**1 $\mu\text{m}$  = 1.000 nm (nanòmetre)**

**1nm = 10 Å (angstrom)**

**1mm = 10.000.000 Å (angstrom)**

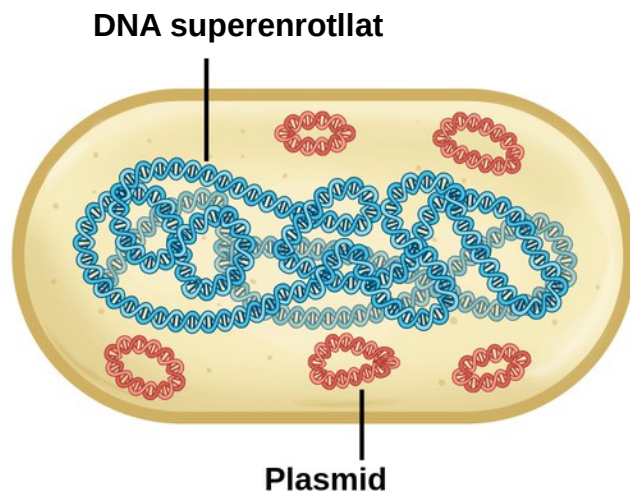
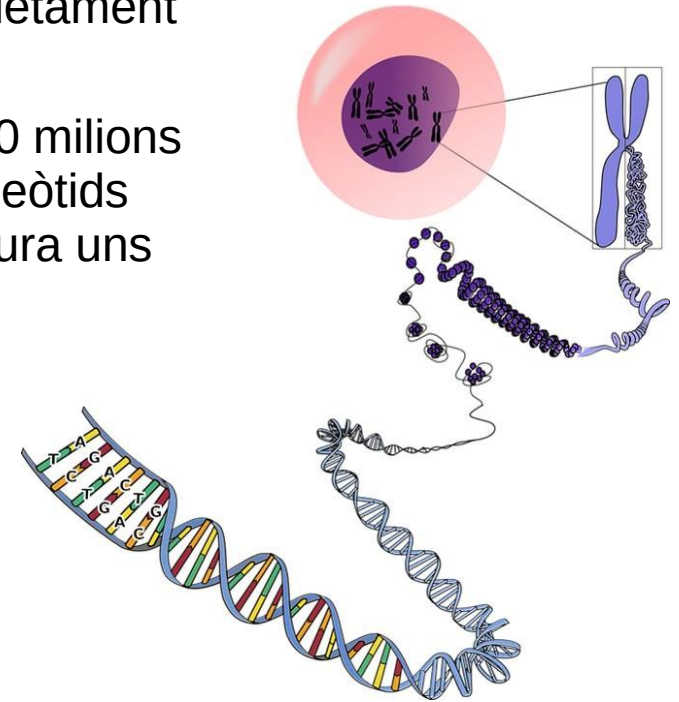
**1 $\mu\text{m}$  =  $1 \times 10^{-3}$ mm    1nm =  $1 \times 10^{-6}$ mm    1Å =  $1 \times 10^{-7}$ mm**

# Estructura terciària: empaquetament del DNA

L'estructura terciària es refereix als diferents nivells d'empaquetament que adopta la doble hèlix dintre de la cèl·lula.

Una cèl·lula típica del nostre cos conté aproximadament 5.600 milions de parells de bases de DNA. Alineats, aquests parells de nucleòtids formarien una doble hèlix d'uns 2m de llarg. El nucli sols mesura uns  $5\mu\text{m}$  de diàmetre.

En realitat, l'estructura secundària o fibra de  $20\text{\AA}$  es troba retorçada sobre ella mateixa i associada a proteïnes, la qual cosa fa que redueixi considerablement la seva longitud. En eucariotes, l'empaquetament és molt complex i compacte i inclou diferents graus de condensació.

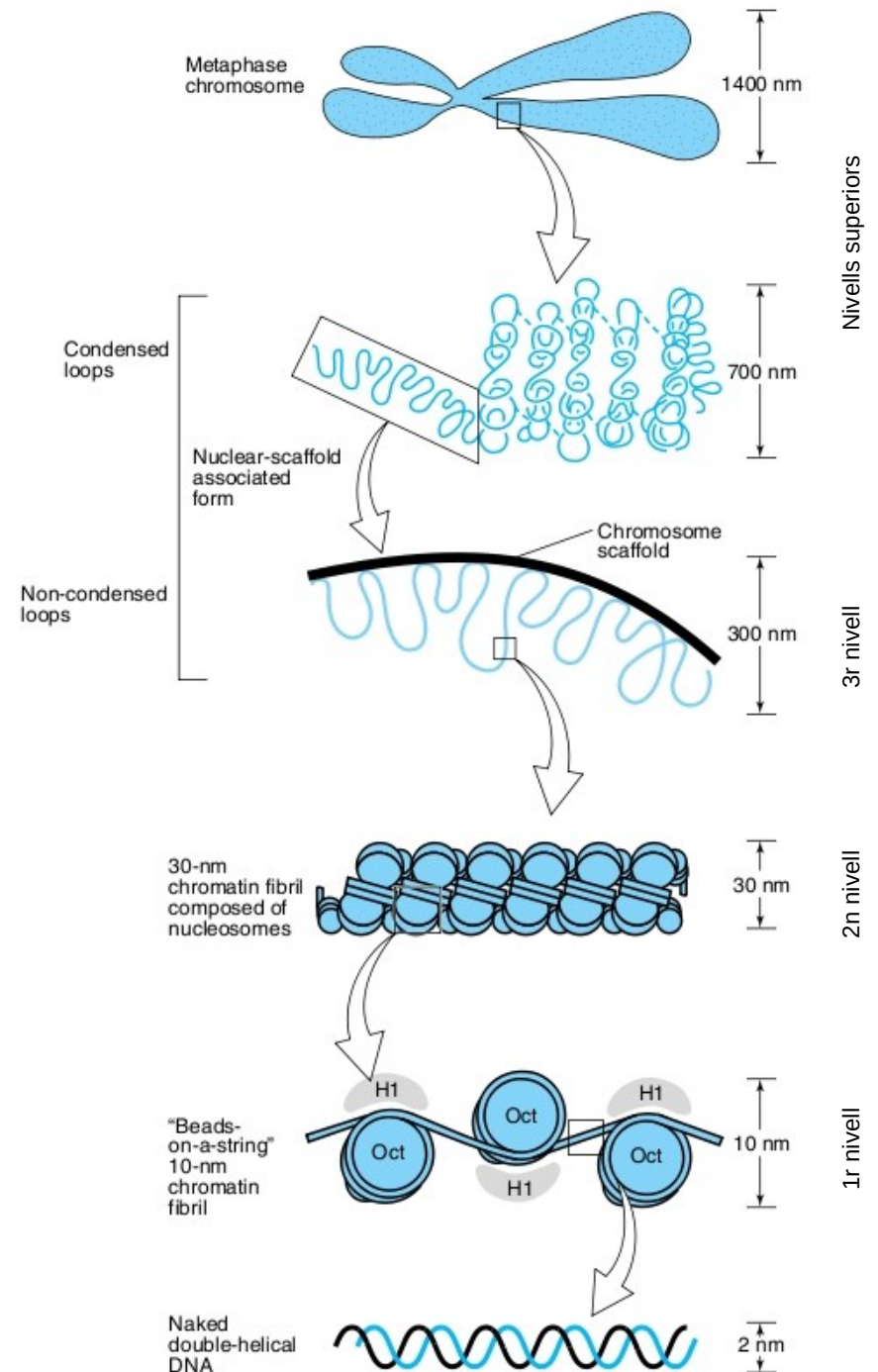


En procariotes, la fibra de  $20\text{\AA}$  es replega formant una superhèlix i s'associa amb una petita quantitat de proteïnes. El mateix passa amb el DNA dels mitocondris i dels cloroplasts. Aquesta disposició s'anomena **DNA superenrotllat**.

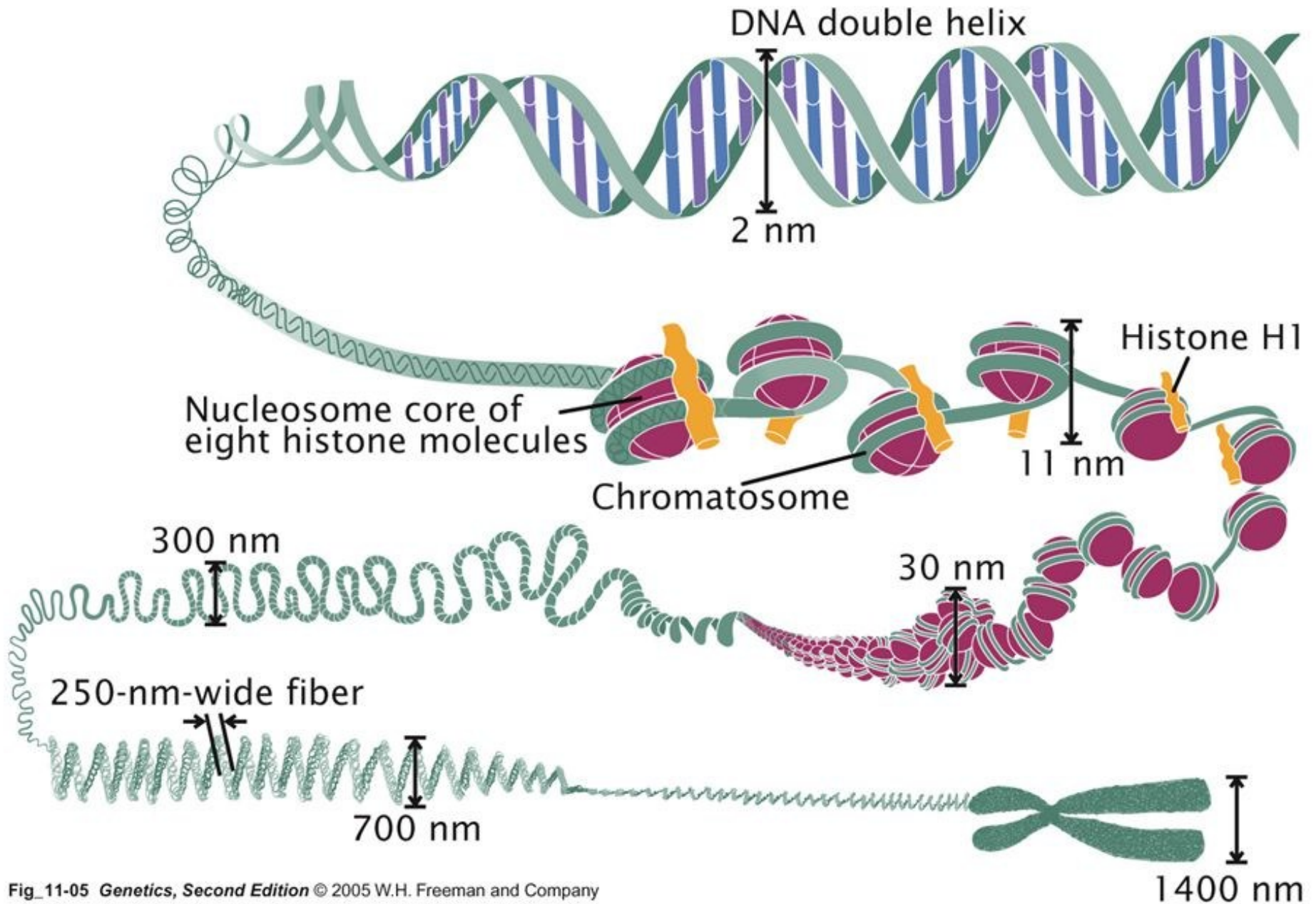
# Nivells d'empaquetament del DNA en eucariotes

Els diferents nivells d'empaquetament són:

- 1r nivell d'empaquetament:  
Fibra de cromatina de 100 Å o collaret de perles.
- 2n nivell d'empaquetament:  
Fibra de cromatina de 300 Å o solenoide.
- 3r nivell d'empaquetament:  
Fibra de cromatina de 3000 Å o fibra en bucles.
- Nivells superiors d'empaquetament:  
Els cromosomes.



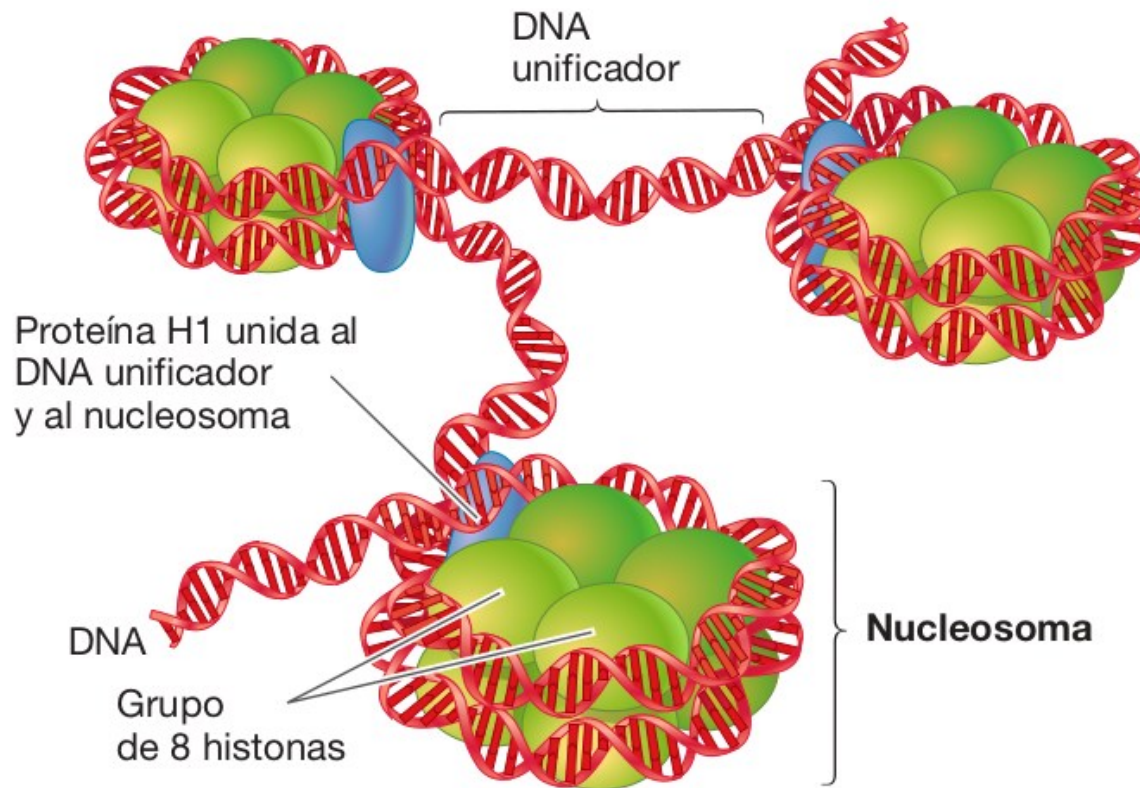
# Levels of DNA Packaging in Eukaryotes



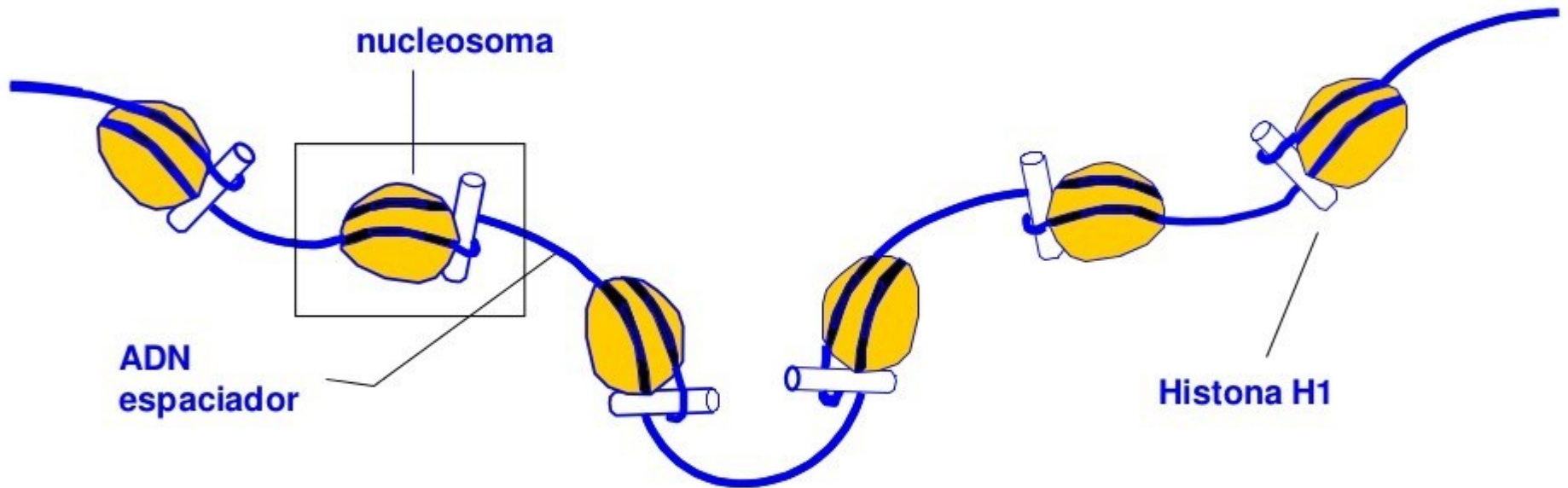
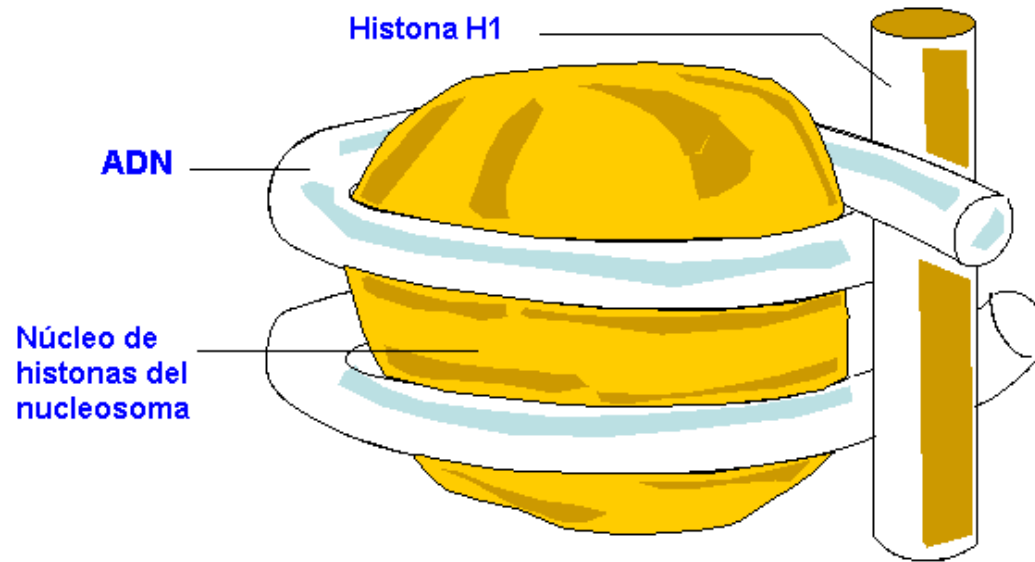
Fig\_11-05 *Genetics, Second Edition* © 2005 W.H. Freeman and Company

# Primer nivell d'empaquetament: fibra de cromatina de 100Å o collaret de perles

Formada per una successió de **nucleosomes**.

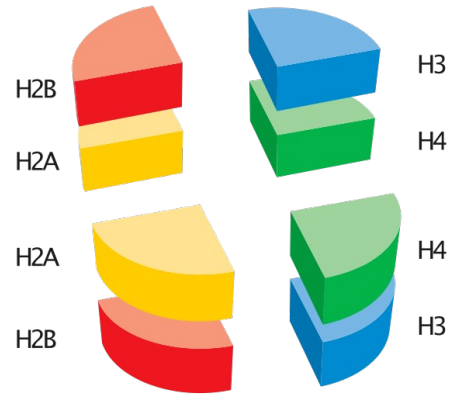


Els nucleosomes són partícules de 100Å de diàmetre formades per un octàmer d'histones (de quatre tipus diferents, H2A, H2B, H3 i H4)) i per una fibra DNA de 200 parells de bases enrotllada sobre l'octàmer i amb un cinquè tipus d'histona (H1), unida a l'octàmer. Entre cada octàmer hi ha un fragment de DNA anomenat DNA espaiador.



Esquema d'una fibra de 100Å o collaret de perles





core histones



histone octamer

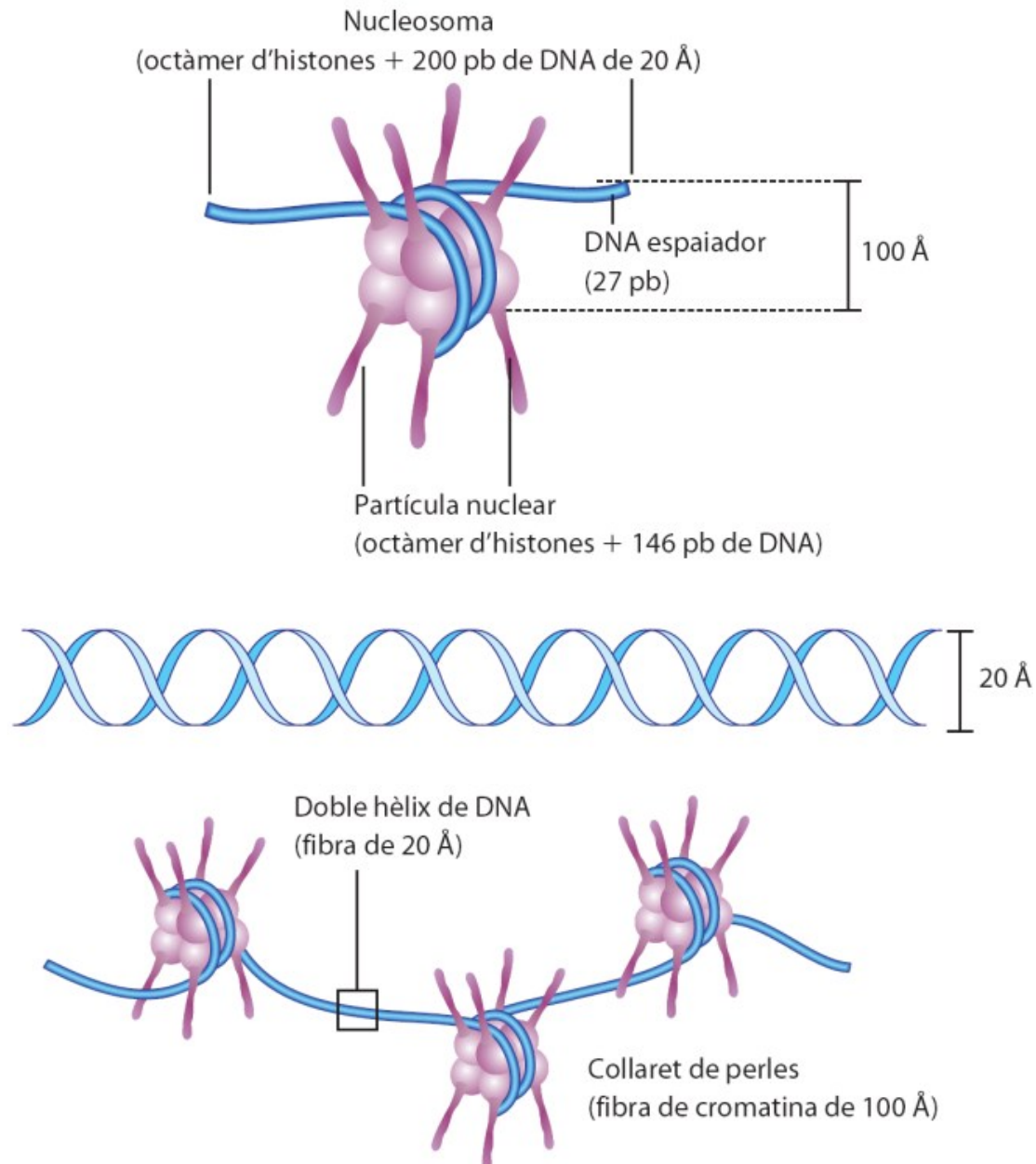


147 bp DNA



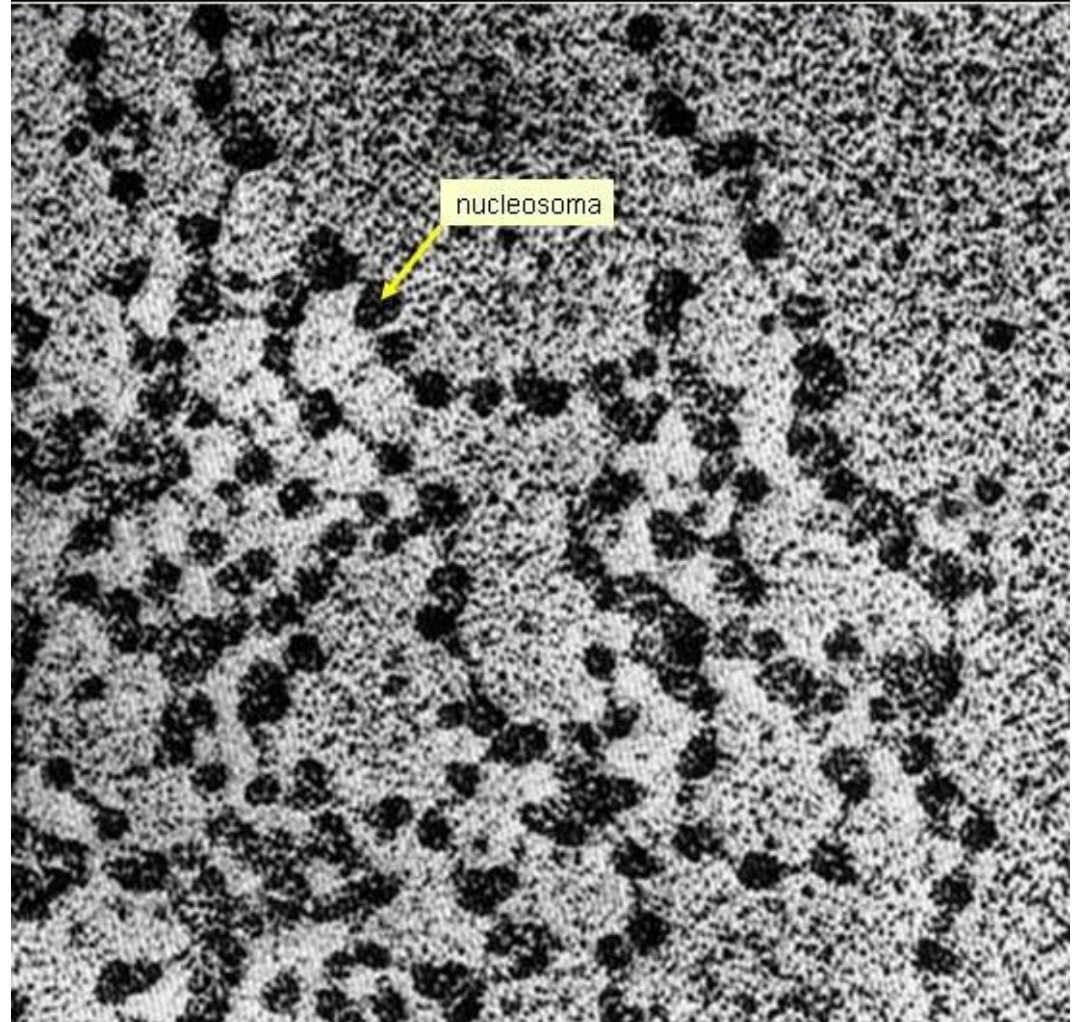
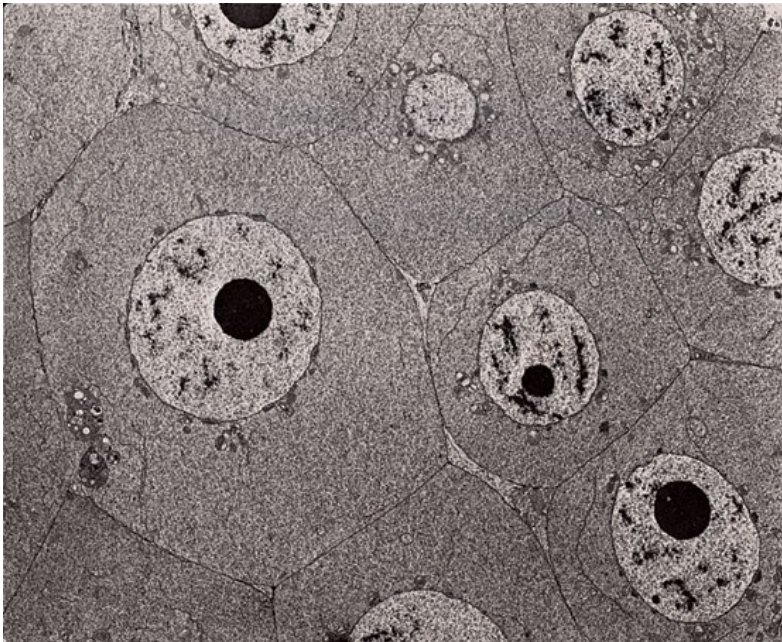
beads-on-a-string nucleosome array

Cada octàmer està constituït per dos còpies de cadascun dels tipus d'histona.



Primer nivell d'empaquetament del DNA.  
Fibra de cromatina de 100 Å o collaret de perles.

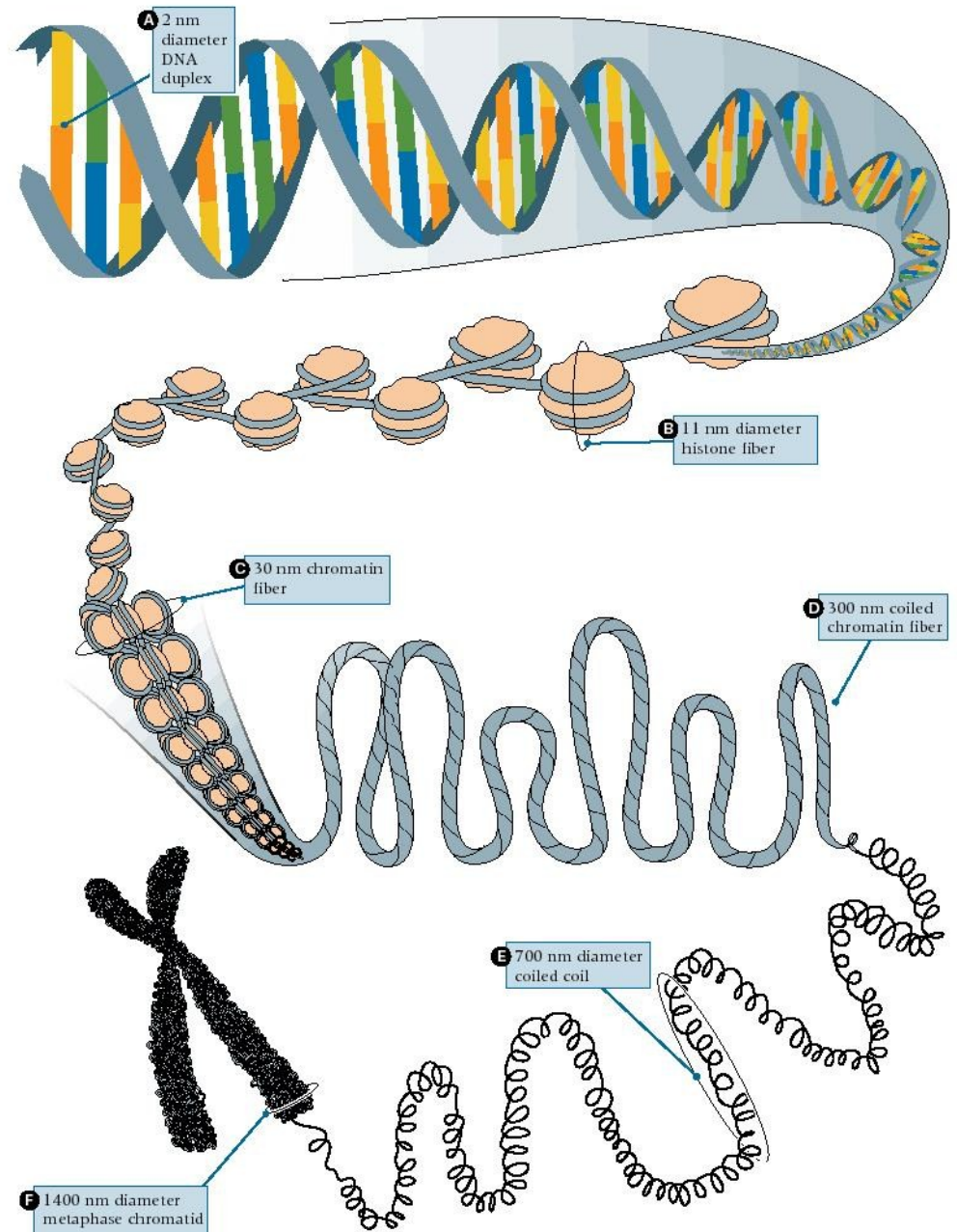
La fibra de 100 Å és l'estat en que es troba el DNA en una cèl·lula en repòs (quan no s'està dividint).



Cromatina (en forma de collaret de perles) vista al microscopi electrònic.

La fibra de 100 Å és l'estat en que es troba el DNA en una cèl·lula en repòs (quan no s'està dividint).

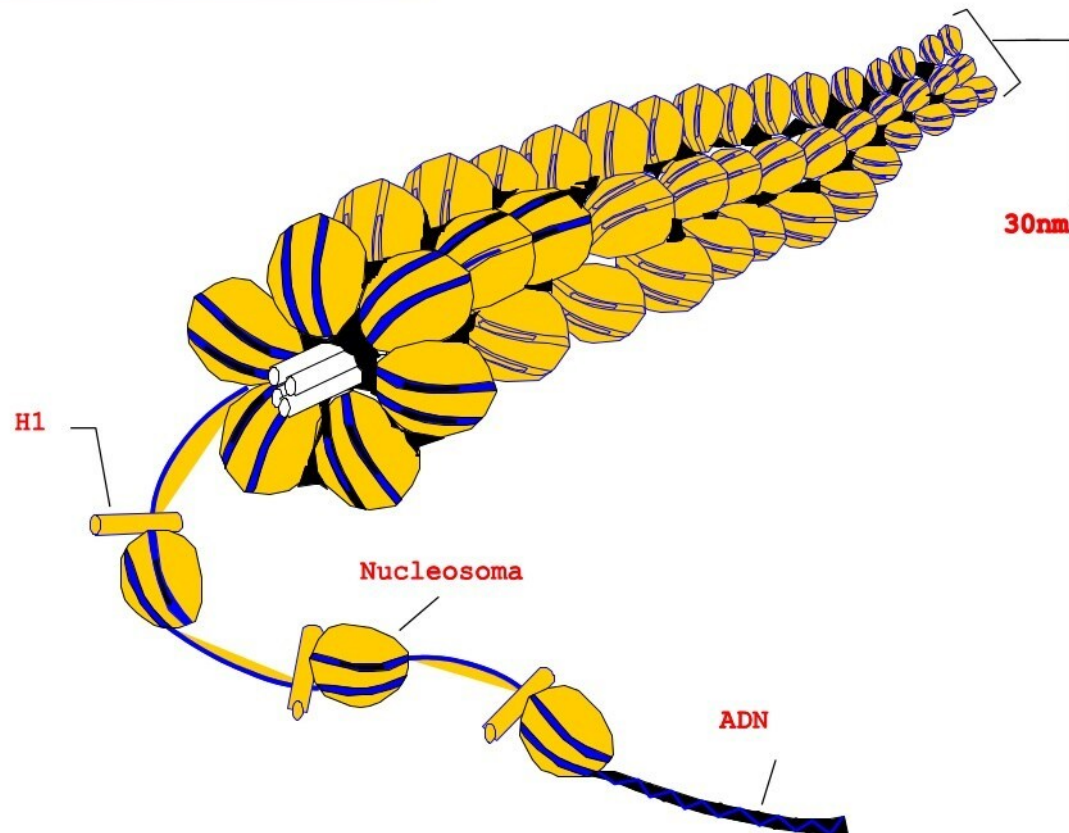
Quan la cèl·lula es prepara per a dividir-se, comença un fenomen de condensació progressiu que finalitza en la formació dels cromosomes.



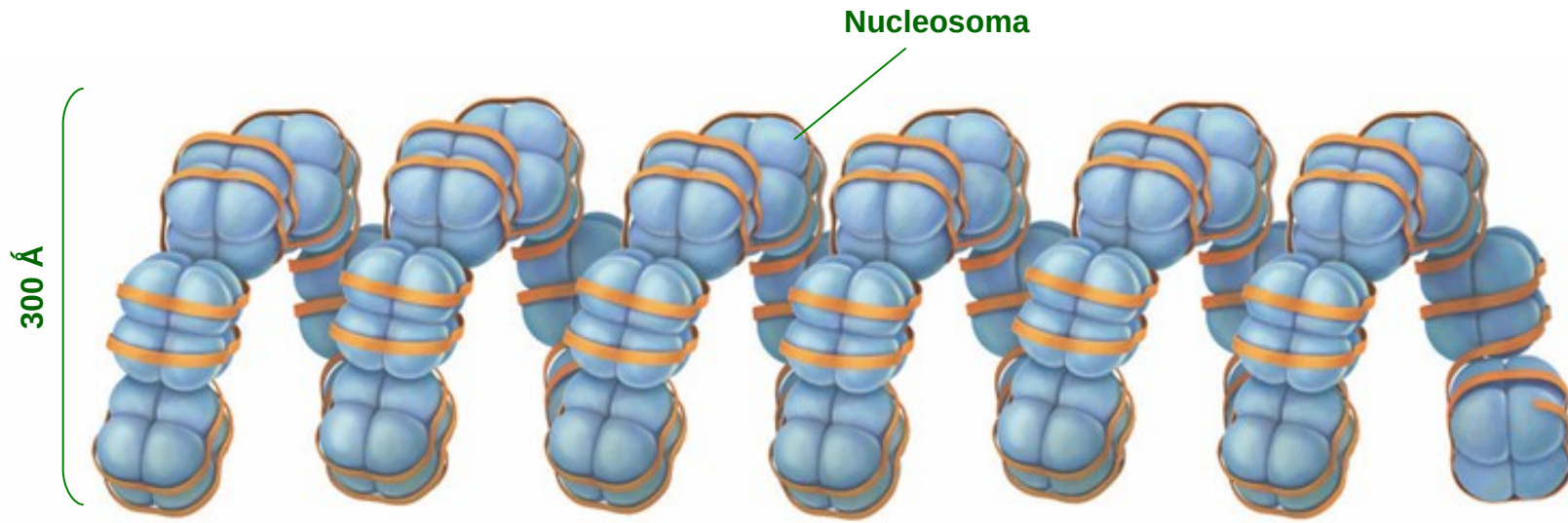
## Segon nivell d'empaquetament: fibra de cromatina de 300Å o solenoide

Formada per l'enrotllament sobre si mateixa de la fibra de cromatina de 100Å.  
Segons el model del solenoide cada volta té sis nucleosomes.

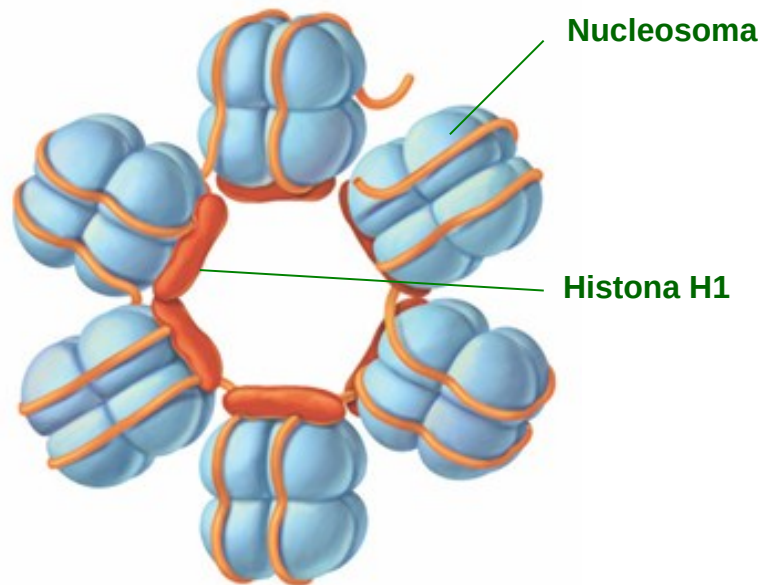
Les histones H1 formen l'eix central de la fibra de 300Å.

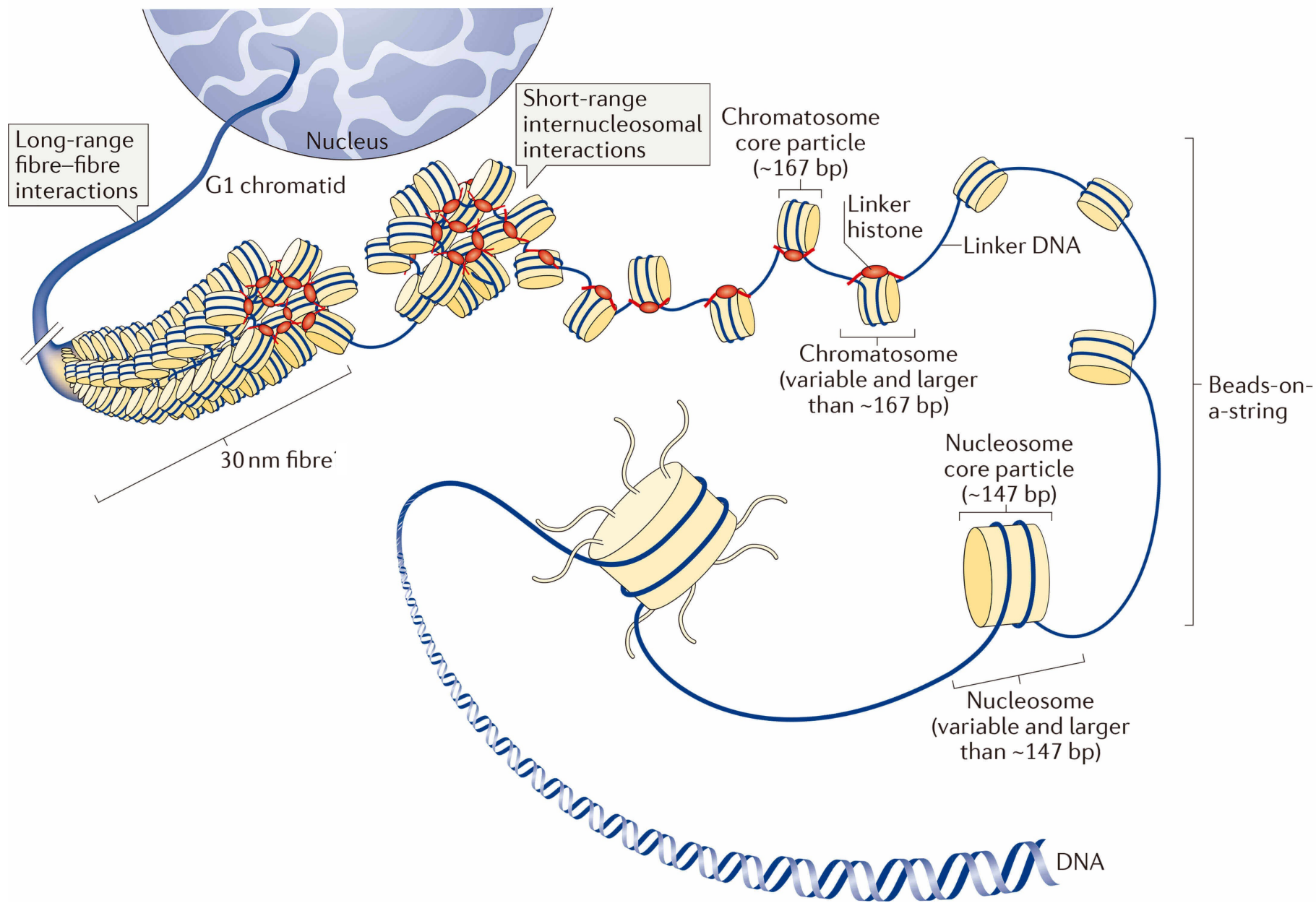


Esquema d'una fibra de 300Å o solenoide

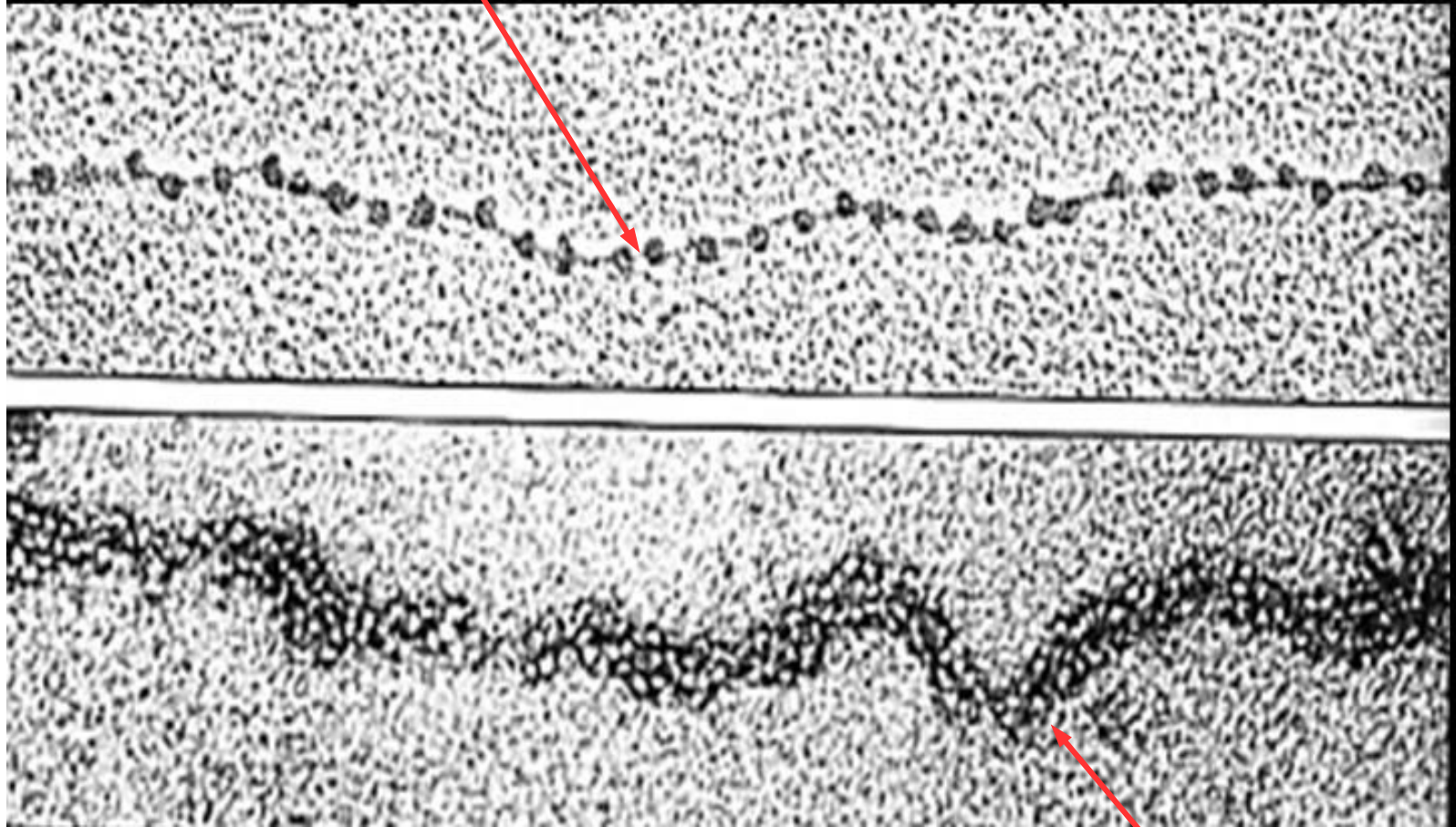


2<sup>n</sup> nivell d'empaquetament





Cromatina del núcleo de una célula eucariota. Se observan una fibra nucleosómica (collar de perlas) y una fibra de 30 nm.

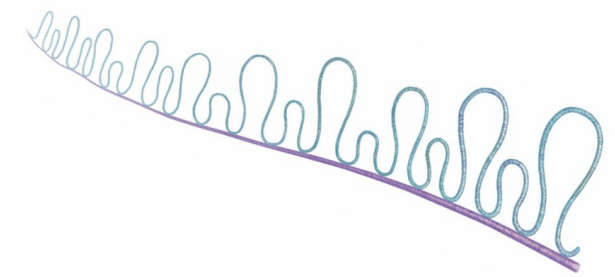


solenoid

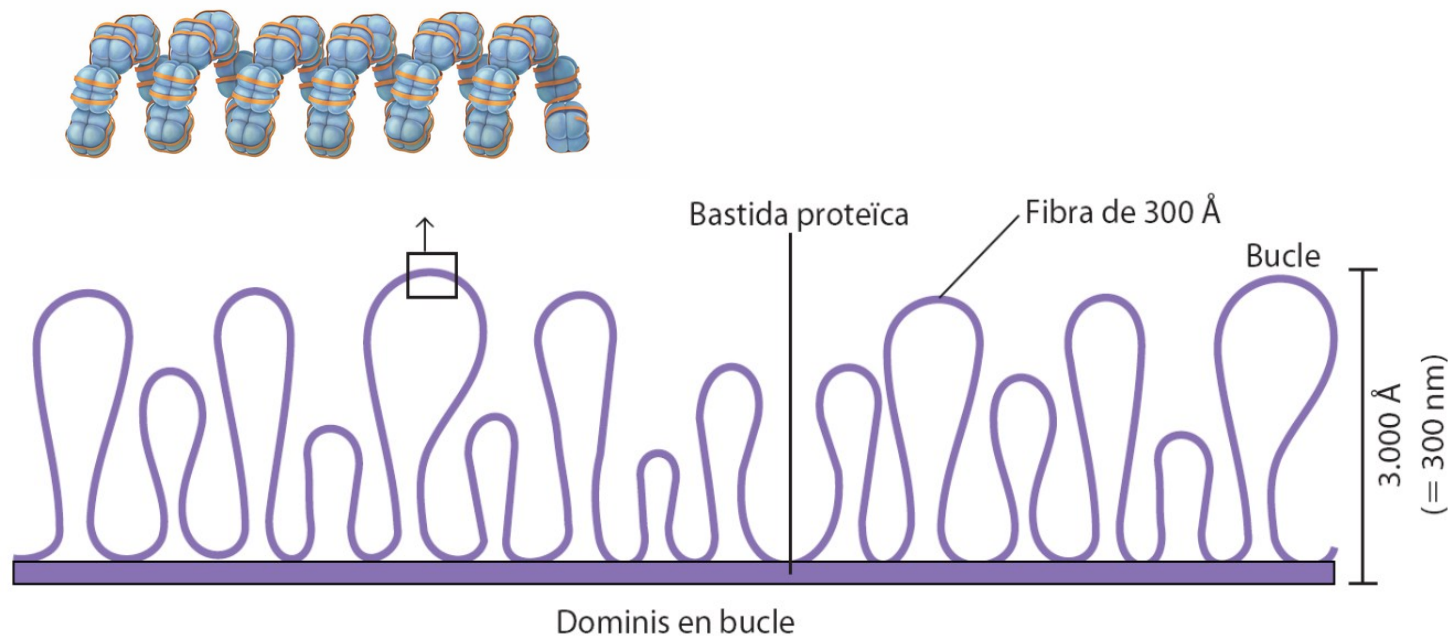


## Tercer nivell d'empaquetament:

### Fibra de cromatina de 3000Å o bucle



A mesura que la fibra de 300Å es va enroscant forma bucles, (dominis estructurals en forma de bucle), d'entre 20.000 i 70.000 parells de bases de longitud, que queden estabilitzats per proteïnes no històniques (bastida proteica).

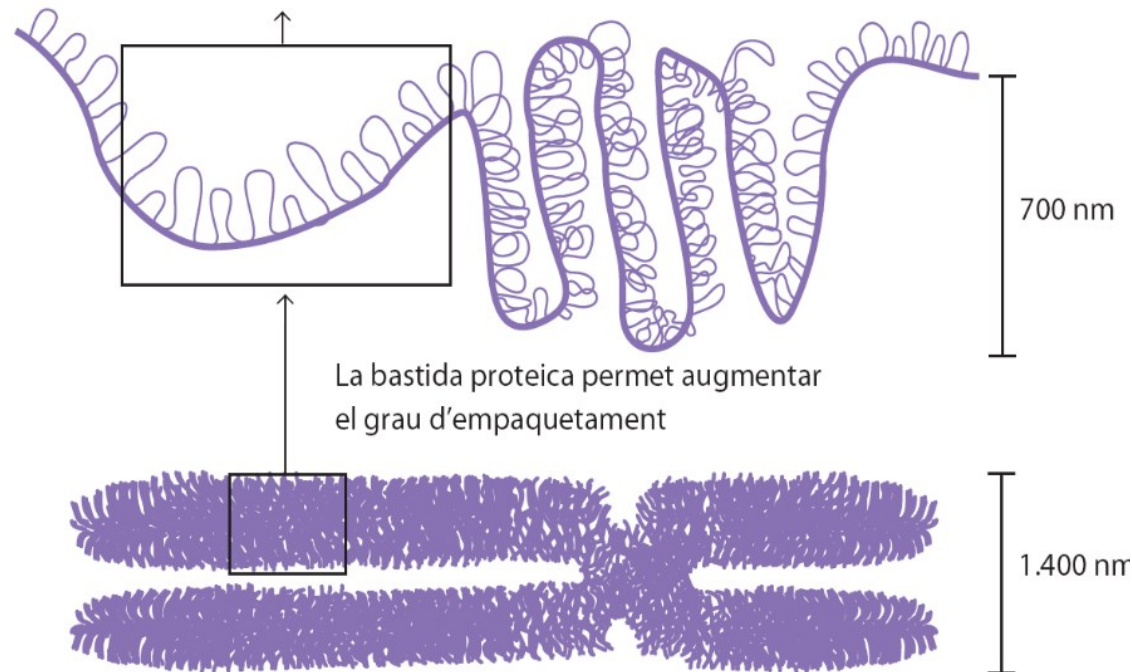


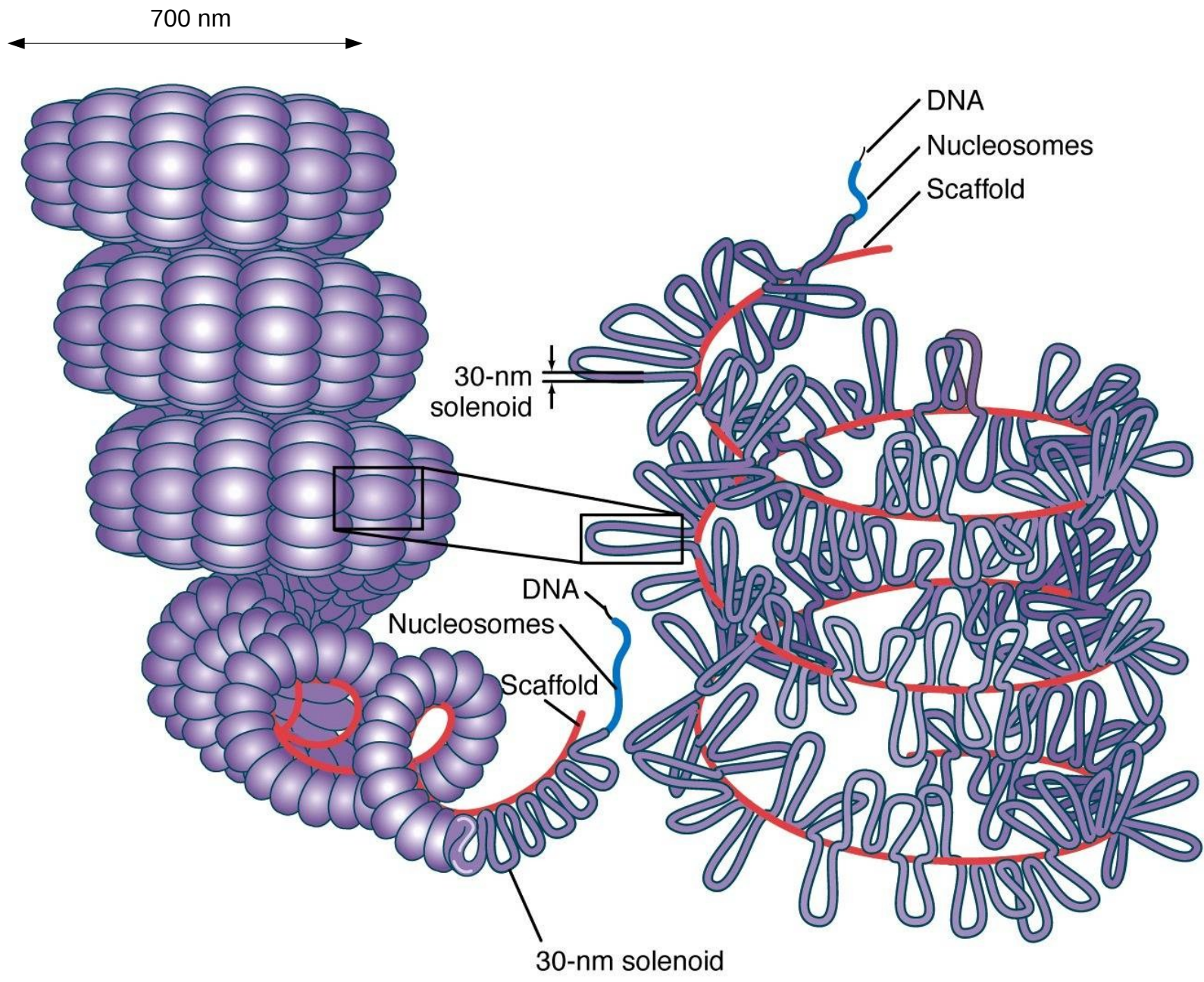
# Nivell superiors d'empaquetament:

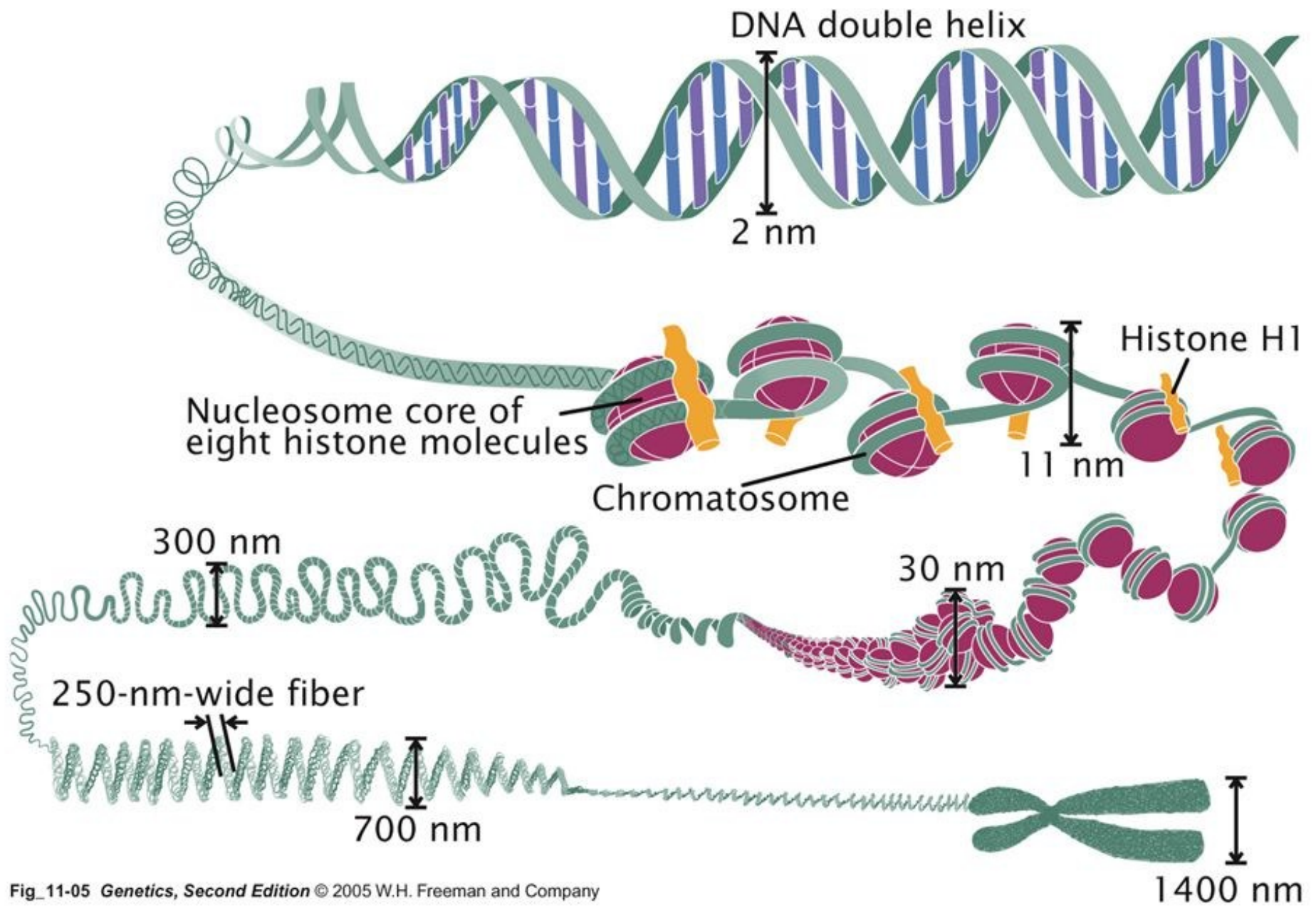
## Els cromosomes

Plegament de la bastida proteica del tercer nivell d'empaquetament i formació dels cromosomes.

Des de el primer nivell d'empaquetament fins al cromosoma hi ha una reducció d'unes 7000 vegades la longitud del DNA.







Fig\_11-05 *Genetics, Second Edition* © 2005 W.H. Freeman and Company



The double helix bridge. Singapur