

ÁCIDOS NUCLEICOS

- 1. Introducción
- 2. Nucleótidos
 - 2.1. Composición química
 - 2.2. O enlace N-glicosídico: formación de nucleósidos
 - 2.3. O enlace éster fosfórico: formación de nucleótidos
- 3. Nucleótidos non nucleotídicos
- 4. O enlace fosdodiéster: formación de polinucleótidos
- 5. Ácido desoxirribonucleico (ADN)
 - 5.1. Estrutura primaria
 - 5.2. Estrutura secundaria
 - 5.3. Desnaturalización do ADN
 - 5.4. Empaquetamento do ADN en procariotas
 - 5.5. Empaquetamento do ADN en eucariotas
 - 5.6. Tipos e localizacións do ADN
- 6. Ácido ribonucleico (ARN)
 - 6.1. Tipos e funcións do ARN
- Cuestionario de repaso

1. INTRODUCCIÓN

Os ácidos nucleicos son macromoléculas biolóxicas encargadas de almacenar, transmitir e expresar a información xenética.

Existen dous tipos de ácidos nucleicos, o ADN e o ARN, ambos formados por subunidades estruturais máis sinxelas, os nucleótidos.

2. NUCLEÓTIDOS

2.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Todos os nucleótidos están formados pola unión dunha aldopentosa a unha base nitroxenada e a unha molécula de ácido fosfórico (H_3PO_4).

PENTOSAS

A desoxirribosa atópase nos nucleótidos de ADN e a ribosa nos de ARN. Tanto a desoxirribosa como a ribosa son monosacáridos cíclicos cuxos átomos de carbono se numeran nos nucleótidos como 1', 2', 3', etc., para evitar confusións cos átomos de carbono das bases nitroxenadas.

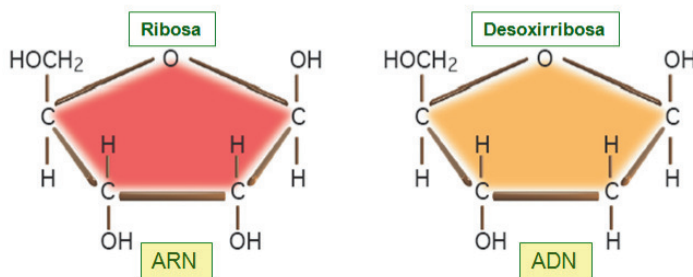


Figura 1. Estrutura de Haworth das dúas aldopentosas que forman parte dos nucleótidos.

BASES NITROXENADAS

As bases nitroxenadas son compostos heterocíclicos formados por carbono e nitróxeno. Existen dous tipos de bases nitroxenadas:

- Púricas: Son a adenina (A) e a guanina (G). Presentes tanto no ADN como no ARN.
- Pirimidínicas: Son a citosina (C), timina (T) e uracilo (U). A timina atópase exclusivamente no ADN, mentres que o uracilo é exclusivo do ARN.

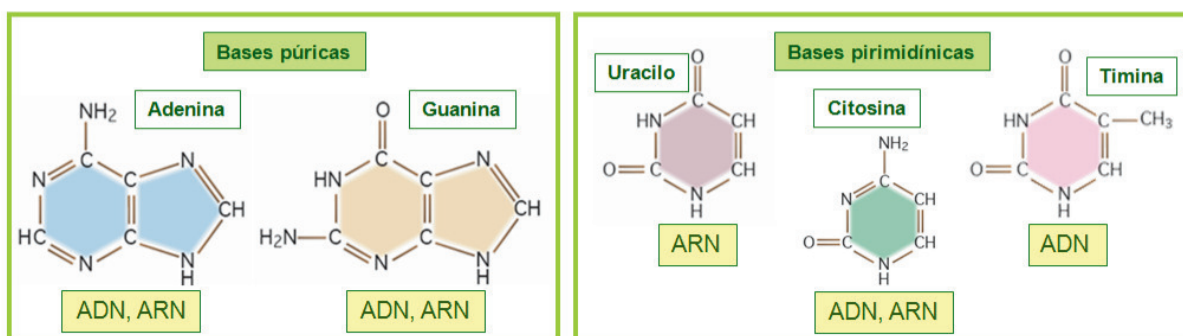


Figura 2. Estrutura das bases nitroxenadas que forman parte dos nucleótidos

ÁCIDO FOSFÓRICO

Atópase nos nucleótidos en forma de ión fosfato. Pódense unir 1, 2 ou 3 ións fosfatos, de modo que se obteñen nucleótidos mono-, di- ou trifosfato, respectivamente.

2.2. O ENLACE N-GLICOSÍDICO: FORMACIÓN DE NUCLEÓSIDOS

A unión dunha base nitroxenada e unha pentosa dá lugar a un nucleósido. Esta unión lévase a cabo mediante un enlace N-glicosídico que se establece entre o C1' da pentosa e un nitróxeno da base (o N1 se é pirimidínica ou o N9 se é púrica) coa formación dunha molécula de auga. Os nucleósidos noméanse engadindo ao nome da base a terminación -osina se é púrica, ou a terminación -idina se se trata dunha base pirimidínica. Se a pentosa é desoxirribosa engádese o prefixo desoxi.

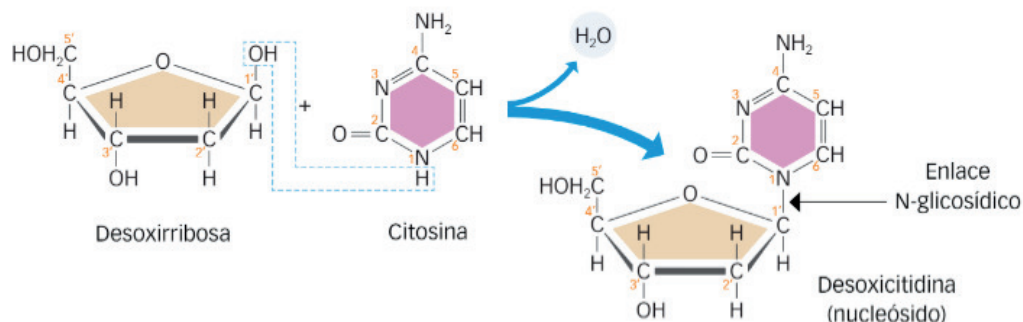


Figura 3. Formación de nucleósidos mediante un enlace N-glicosídico entre a pentosa e a base nitroxenada. Os nucleósidos son biomoléculas orgánicas que se obteñen da hidrólise encimática dos nucleótidos

2.3. O ENLACE ÉSTER FOSFÓRICO: FORMACIÓN DE NUCLEÓTIDOS

Os nucleótidos fórmanse pola unión dun nucleósido con 1, 2 ou 3 moléculas de ácido fosfórico en forma de ión fosfato, o que lle confire un carácter fortemente ácido ós compostos resultantes. O enlace éster fosfórico prodúcese entre o grupo hidroxilo do carbono 5' da pentosa e o primeiro ácido fosfórico. Noméanse como o nucleósido do que proceden eliminando o -a final e engadindo a terminación 5'-(mono, di ou tri)fosfato.

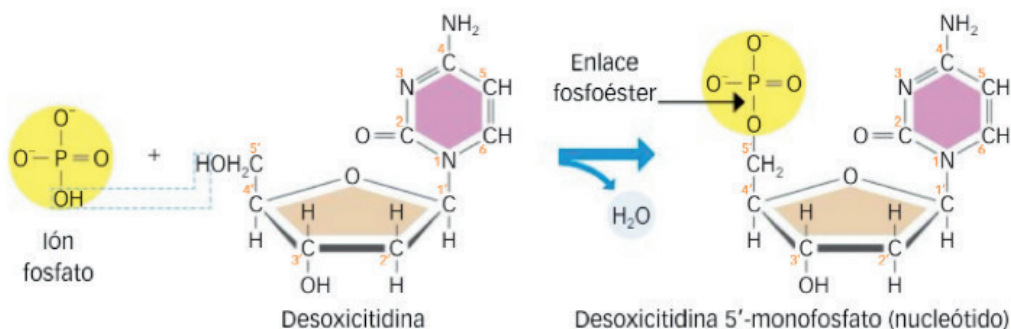


Figura 4. Formación de nucleótidos mediante a unión de ácido fosfórico e a aldopentosa a través dun enlace éster fosfórico. Os nucleótidos poden estar unidos a ata 3 átomos de ácido fosfórico mediante enlaces éster que se establecen entre eles.

Nomenclatura dos nucleósidos e nucleótidos				
Bases	Nucleósidos		Nucleótidos	
	ARN	ADN	ARN (ribonucleótidos)	ADN (desoxirribonucleótidos)
Adenina	Adenosina	Desoxiadenosina	Adenosina 5'-monofosfato (AMP)	Desoxiadenosina 5'-monofosfato (dAMP)
Guanina	Guanosina	Desoxiguanosina	Guanosina 5'-monofosfato (GMP)	Desoxiguanosina 5'-monofosfato (dGMP)
Citosina	Citidina	Desoxicitidina	Citidina 5'-monofosfato (CMP)	Desoxicitidina 5'-monofosfato (dCMP)
Timina	—	Desoxitimidina	—	Desoxitimidina 5'-monofosfato (dTMP)
Uracilo	Uridina	—	Uridina 5'-monofosfato (UMP)	—

3. NUCLEÓTIDOS NON NUCLEICOS

Ademais dos nucleótidos que integran os ácidos nucleicos, existen outros que teñen unha importancia biolóxica notable e que non forman parte deles; denomínanse nucleótidos non nucleicos. Atópanse libres nas células e actúan como intermediarios de reaccións químicas no metabolismo celular.

NUCLEÓTIDOS DE ADENINA

- ADP (adenosíndifosfato) e o ATP (adenosíntrifosfato)

Os grupos fosfato únense entre si mediante enlaces ricos en enerxía. Esta enerxía acumúlase ao formarse o enlace e libérase facilmente cando este rompe por hidrólise. Son, por tanto, moléculas transportadoras de enerxía; o ATP acumula a enerxía liberada nalgúns reaccións bioquímicas de forma que se poida utilizar posteriormente na cantidade e no momento precisos noutros procesos que o requiran.

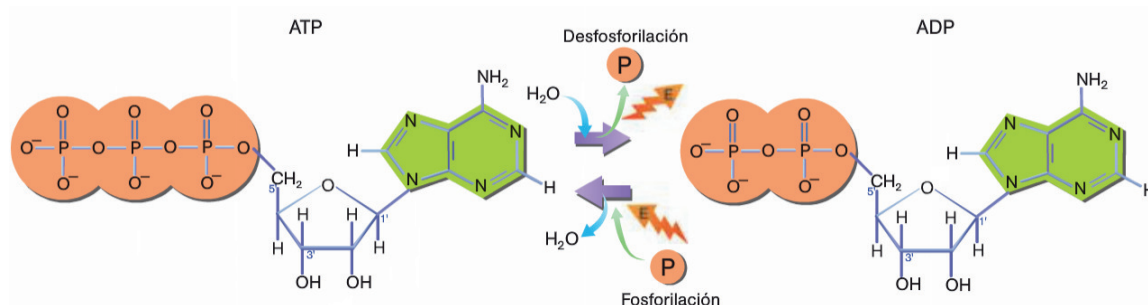


Figura 5. A desfosforilación da molécula de ATP por hidrólise libera unha gran cantidade de enerxía que normalmente é aproveitada noutras reaccións químicas que a necesiten. Pola contra, a fosforilación do ADP require dun aporte enerxético equivalente que normalmente é cedido por reaccións nas que se libera enerxía.

- AMP cíclico (AMPc)

É un nucleótido de adenina cuxo ácido fosfórico está esterificado cos carbonos 5' e 3' da ribosa, formando unha estrutura cíclica. Denomínaselle “segundo mensaxeiro”, xa que transmite e amplifica no interior da célula os sinais que lle chegan a través do sangue mediante as hormonas, que son os “primeiros mensaxeiros”.

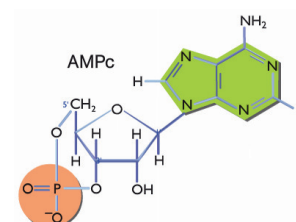


Figura 6. Estrutura do AMPc

NUCLEÓTIDOS COENCIMÁTICOS

- Coenzima A (CoA ou CoA-SH)

É un derivado do ADP que contén un grupo tiol (-SH), gracias ó cal pode unirse ós grupos acilo (R-CO-) procedentes dos ácidos orgánicos, intervindo en reaccións encimáticas implicadas no metabolismo celular como transportador destes ácidos.

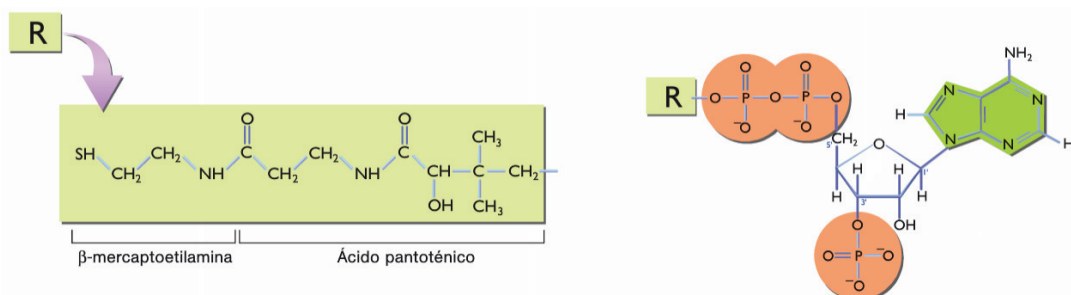


Figura 7. A coenzima A está formada por un derivado do ADP (estrutura da dereita) unido a unha molécula de ácido pantoténico (vitamina B5) que, á súa vez, está unido a unha molécula de β -mercaptoetanolamina (cadea curta de etilamina unida a un grupo tiol (-SH)).

- Nucleótidos de flavina

Están formados por unha base nitroxenada, chamada flavina, e un derivado da ribosa, o ribitol. Ó unirse ambos compostos fórmase un nucleósido chamado riboflavina ou vitamina B2. Os nucleótidos de flavina son:

- FAD (flavín-adenín-dinucleótido), que é un dinucleótido de flavina e adenina.
- FMN (flavín-mononucleótido), que é un mononucleótido de flavina.

Ambos son coencimas das deshidroxenases, encimas que catalizan reaccións de oxidación-redución, e pódense atopar tanto na forma oxidada (FAD, FMN) como en forma reducida (FADH₂, FMNH₂).

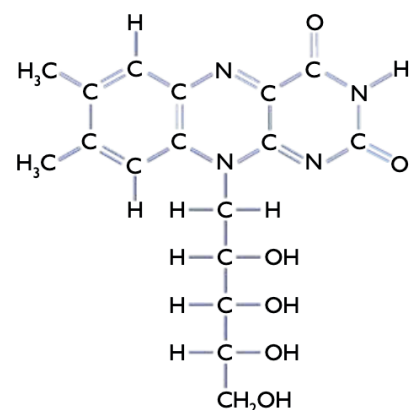


Figura 8. Estrutura da riboflavina (vitamina B2)

- Nucleótidos de piridina

Son dinucleótidos formados pola unión dun nucleótido de nicotinamida (vitamina B3) e outro de adenina. Existen dous nucleótidos de piridina:

- NAD: dinucleótido de nicotinamida e adenina.
- NADP: fosfato do dinucleótido de nicotinamida e adenina.

Son tamén coencimas de deshidroxenases. Pódense atopar na súa forma oxidada (NAD⁺, NADP⁺) ou reducida (NADH, NADPH).

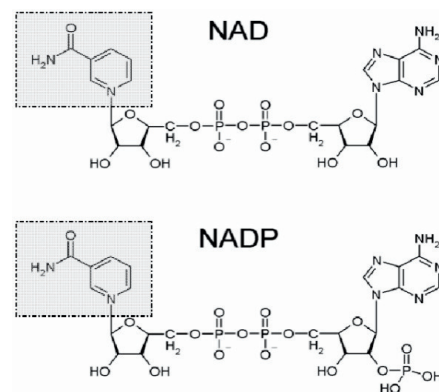


Figura 9. Estrutura dos nucleótidos de piridina

4. O ENLACE FOSFODIÉSTER: FORMACIÓN DE POLINUCLEÓTIDOS

Os polinucleótidos fórmanse pola esterificación da pentosa dun nucleótido co ácido fosfórico do nucleótido contiguo, reacción na que se desprende unha molécula de auga. A unión prodúcese entre o grupo hidroxilo unido ó C3' da pentosa, e o grupo hidroxilo do ácido fosfórico unido ó C5' da pentosa do nucleótido que o sigue en secuencia. Fórmase así un enlace fosfodiéster. Nos polinucleótidos diferénciase un extremo 5' formado polo nucleótido que posúe o ácido fosfórico libre; e un extremo 3', formado polo nucleótido que posúe o grupo hidroxilo do C3' libre.

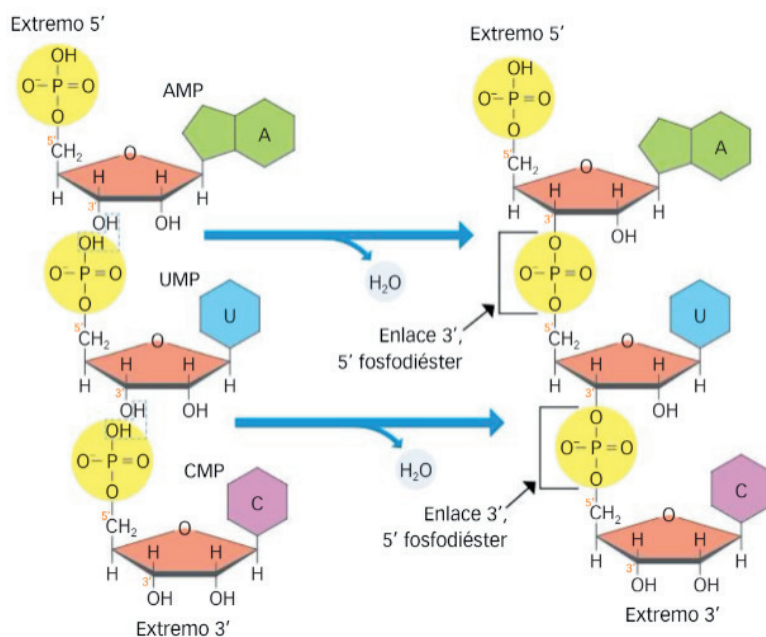


Figura 10. Formación de enlaces fosfodiéster entre varios nucleótidos para formar un polinucleótido

5. ÁCIDO DESOXIRRIBONUCLEICO

O ADN é un polímero liñal formado pola unión de desoxirribonucleótidos de A, G, C, e T, unidos mediante enlaces fosfodiéster en sentido 5' → 3'; é dicir, formados entre o carbono 3' do último nucleótido da cadea e o carbono 5' do novo nucleótido que se engade a ela.

5.1. ESTRUCTURA PRIMARIA

É a secuencia de nucleótidos dunha soa cadea ou febra, que adopta unha disposición filamentosa estendida ou algo dobrada sobre si mesma.

A diferenza entre as distintas moléculas de ADN radica no tamaño, na composición e na secuencia de bases, é dicir, na orde na que se dispoñen os diferentes nucleótidos na cadea polinucleotídica.

A secuencia dunha cadea polinucleotídica represéntase coa inicial do nome das bases nitroxenadas. Por exemplo: a que se amosa na imaxe represéntase como ACGT.

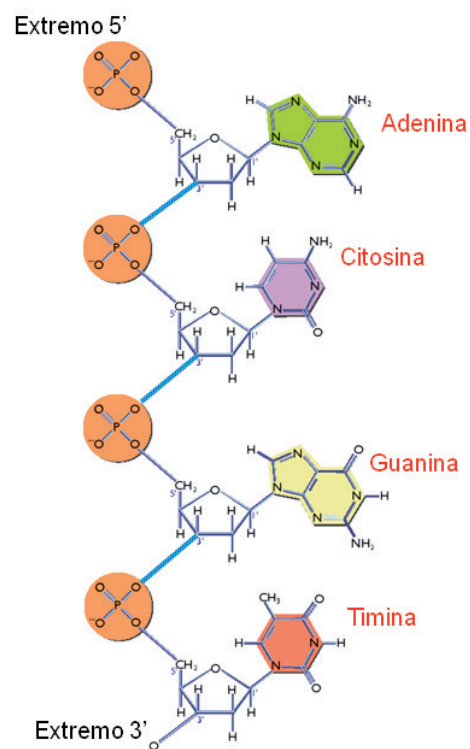


Figura 11. Estructura primaria do ADN

5.2. ESTRUCTURA SECUNDARIA

A principios da década dos 50, Wilkins e Franklin utilizaron métodos de difracción en raios X para chegar á conclusión de que a molécula de ADN era longa e ríxida, non repregada como as proteínas.

Por outra banda, Chargaff pescudara que a cantidade de bases púricas, en todos os seres vivos, era igual á de bases pirimidínicas e, concretamente que existe a mesma porcentaxe de A que de T e o mesma de C que de G. Esta relación A-T; C-G chámase “principio de equivalencia de bases”.

Partindo destes datos, Watson e Crick en 1953 propuxeron o modelo espacial do ADN, no que se indica que a molécula de ADN é unha dobre hélice de 20 Å (2 nm) de diámetro, formada por 2 cadeas de polinucleótidos enroladas ao redor dun eixe imaxinario. O enrolamento é dextróxiro (no sentido das agullas do reloxo) e plectonémico (para que as dúas cadeas se separen é necesario que se desenrolen). As cadeas son complementarias, é dicir, existe unha correspondencia entre as bases, que se enlazan mediante pontes de hidróxeno: tres no caso da unión da C e a G, e dúas no caso da A e a T. Polo tanto, coñecendo a secuencia dunha cadea é posible deducir de forma inmediata a secuencia da cadea complementaria.

As bases nitroxenadas quedan no interior da dobre hélice, mentres que os esqueletos pentosa-fostato sitúanse na parte externa. Os planos das bases nitroxenadas enfrontadas son paralelos entre si e perpendiculares ao eixe da hélice.

A lonxitude de cada volta da dobre hélice é de 34 Å (3,4 nm) e existen 10 pares de nucleótidos por cada volta. Por tanto, cada parella de nucleótidos está separada da seguinte unha distancia de 3,4 Å (0,34 nm).

As cadeas son antiparalelas, é dicir, unha sitúase en sentido 5'→3' e a outra en sentido 3'→5'.

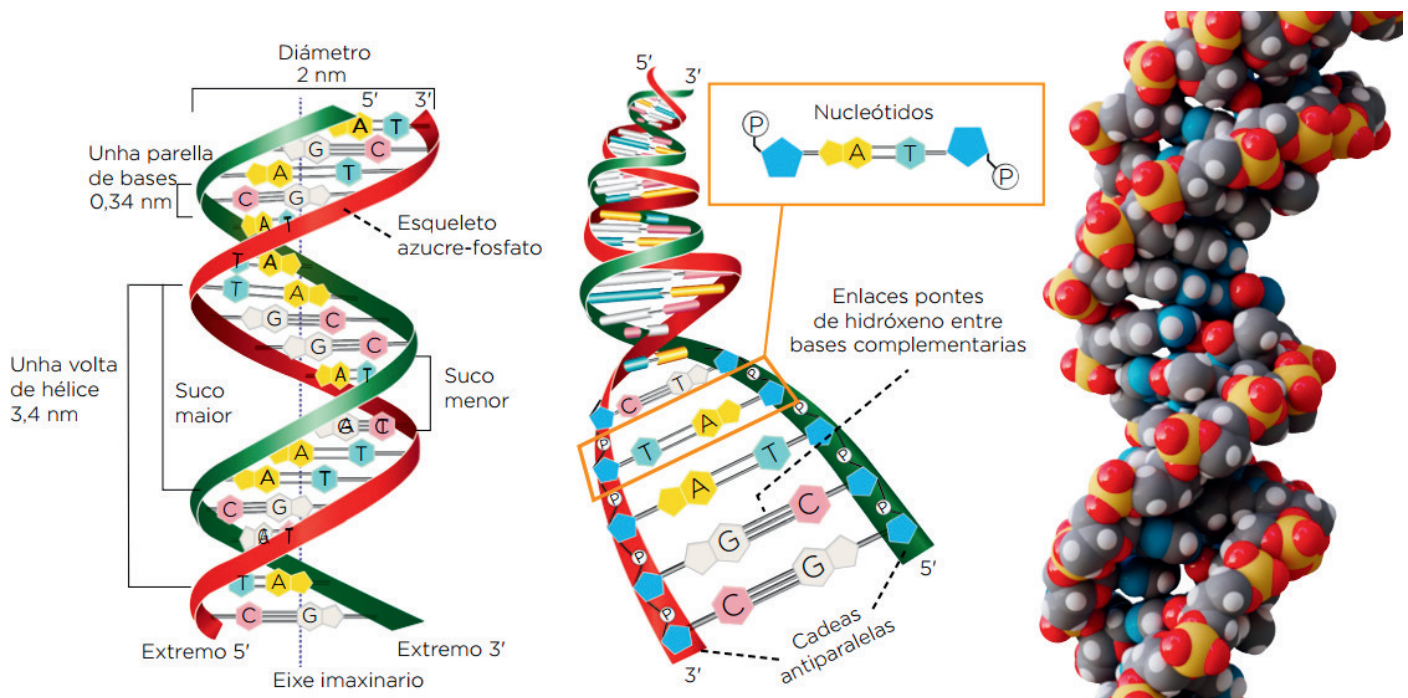


Figura 11. Dobre hélice do ADN

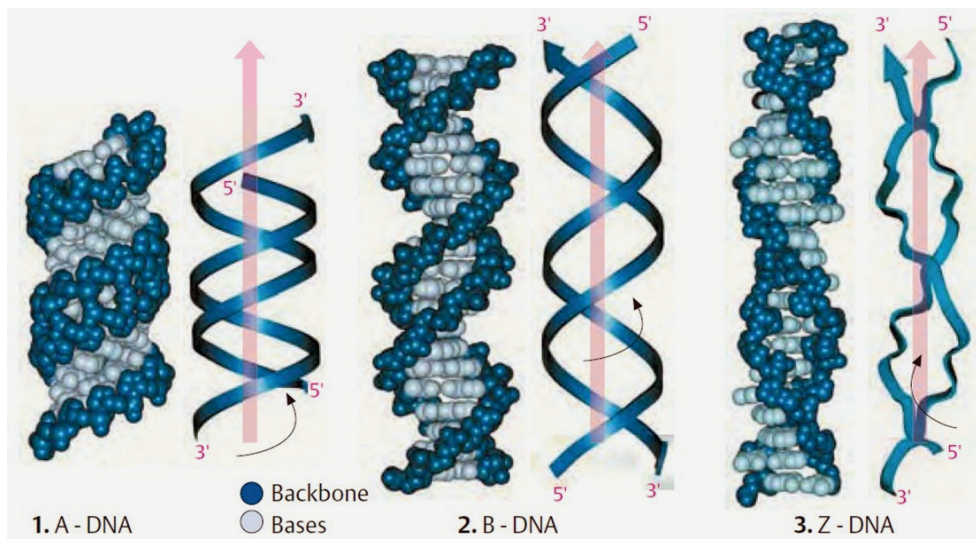


Figura 12. O modelo da dobre hélice descrito por Watson e Crick é o máis característico e denomínase forma B do ADN (medio); pero describíronse tamén outros modelos. O ADN-A (esquerda) trátase dunha dobre hélice dextrógiro cuxos pares de bases se atopan inclinados respecto ó eixe da hélice, de modo que resulta ser máis ancha e curta (2,8 nm por volta; 11 pares de bases por volta) que a forma B. O ADN-Z é unha hélice levógiro onde as cadeas polinucleotídicas se atopan enroladas formando un zigzag. Trátase dunha hélice máis estreita e longa (3,8 nm por volta; 12 pares de bases por volta) que a forma B. Esta configuración débese á presenza de numerosos nucleótidos de G e C alternantes (GCGCGCGCGC) que poden aparecer en determinadas condicións nos seres vivos. Crese que esta forma estrutural do ADN intervén nos procesos da expresión da mensaxe xenética.

5.3. DESNATURALIZACIÓN DO ADN

A molécula de ADN é moi estable en condicións fisiolóxicas normais, debido aos numerosos enlaces de hidróxeno entre as bases, pero se varía o pH ou se aumenta a temperaturas arredor dos 100°C, estes enlaces rómpense e as dúas febras da dobre hélice sepáranse; é dicir, prodúcese a desnaturalización do ADN.

A desnaturalización non é irreversible, xa que se diminúe de novo a temperatura, ata arredor dos 65°C, as febras volven unirse; este proceso é a renaturalización ou hibridación do ADN.

A temperatura á cal se manteñen desnaturalizadas a metade das bases nitroxenadas dunha molécula de ADN chámase temperatura de fusión (T_m). A T_m incrementase coa lonxitude da molécula e tamén coa presenza dos pares de bases C-G (estabilizados por 3 pontes de hidróxeno).

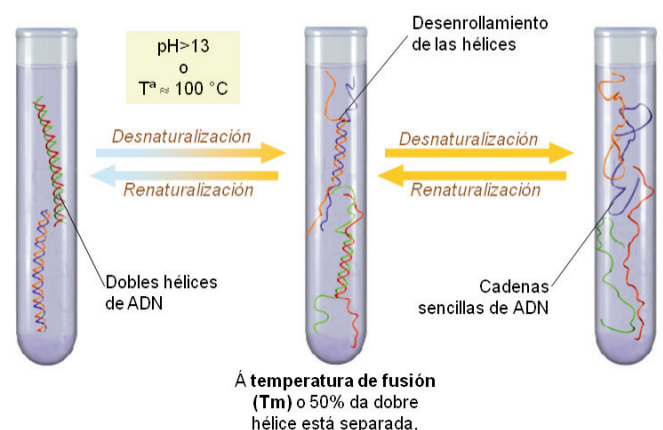


Figura 13. Desnaturalización e renaturalización da estrutura secundaria do ADN

5.4. EMPAQUETAMENTO DO ADN EN PROCARIOTAS

Nas células procariotas o ADN presenta un superenrolamento formado polo xiro da dobre hélice sobre sí mesma, ocupando, así, menor volume.

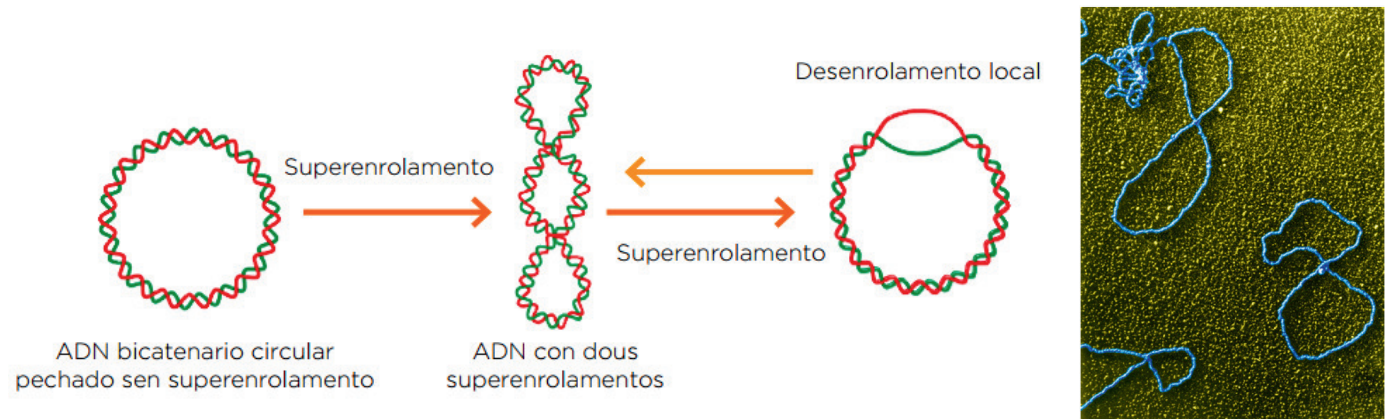


Figura 14. Estrutura terciaria superenrolada do cromosoma bacteriano

5.5. EMPAQUETAMENTO DO ADN EN EUCARIOTAS

PRIMEIRO NIVEL DE EMPAQUETAMENTO

O nivel máis baixo de empaquetamento da cromatina corresponde á denominada fibra de cromatina de $100\text{\AA}$, tamén chamada colar de perlas ou fibra nucleosómica xa que está constituída por unha sucesión de partículas de $100\text{\AA}$ de diámetro denominadas nucleosomas.

Cada nucleosoma está formado por un octámero de histonas ó redor do cal se enrola o ADN, dando algo menos de dúas voltas. O ADN que hai entre un octámero e outro recibe o nome de ADN espazador.

Os nucleosomas asóciase a unha molécula dun quinto tipo de histona, a H1, constituíndo o cromosoma; cando isto ocorre, a fibra de $100\text{\AA}$ acúrtase e dá lugar a unha forma condensada do colar de perlas.

Nos espermatozoides, cuxo núcleo é máis pequeno, requírese unha maior condensación do ADN. Neste caso, a febra polinucleotídica atópase enrolada arredor dunhas proteínas máis pequenas e máis ácidas, chamadas protaminas.

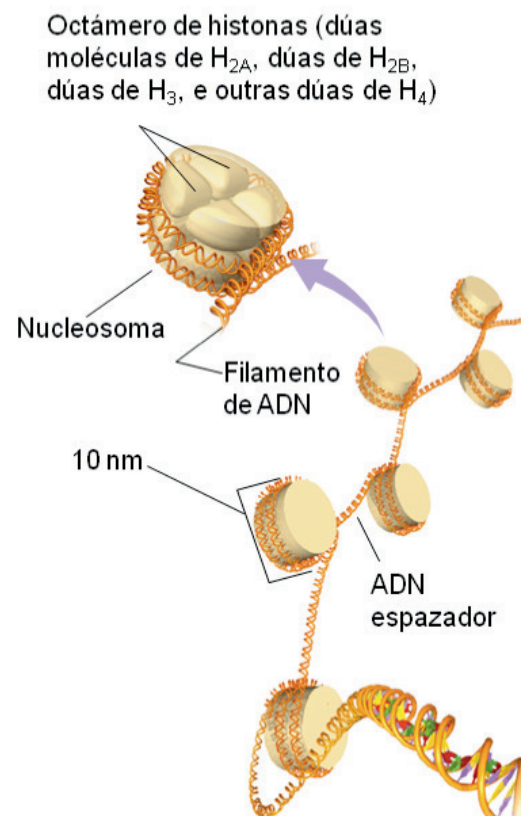


Figura 15. Estrutura do colar de perlas (fibra de $100\text{\AA}$)

SEGUNDO NIVEL DE EMPAQUETAMENTO

Tamén coñecido como fibra de cromatina de 300Å, fórmase polo enrolamento sobre si mesma da fibra condensada de cromatina de 100Å.

Segundo o modelo do solenoide, que é o máis aceptado, invístense uns 6 nucleosomas e as histonas H1 agrúpanse entre si formando o eixo central da fibra de 300Å. Isto implica un acurtamento de, aproximadamente, cinco veces a lonxitude do “colar de perlas”.

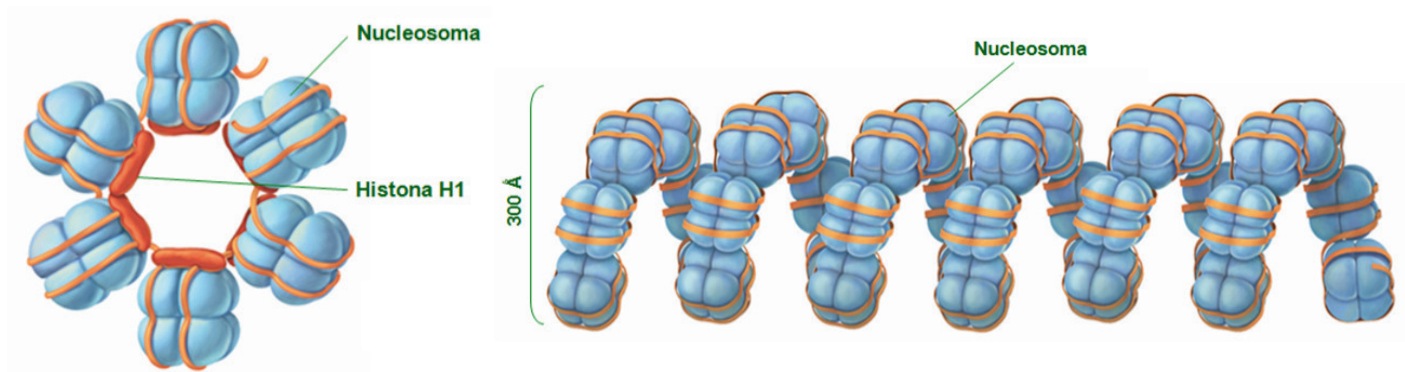


Figura 16. Estrutura da fibra de 300Å segundo o modelo do solenoide

TERCEIRO NIVEL DE EMPAQUETAMENTO

A fibra de 300Å forma unha serie de bucles ancorados a un armazón central proteico constituído por proteínas non histónicas, que forma o eixo central dos cromosomas. Estes bucles atópanse enrolados sobre si mesmos, formando prominencias de 600Å (60nm) de diámetro. Este é o nivel de empaquetamento que acada a cromatina no núcleo interfásico.

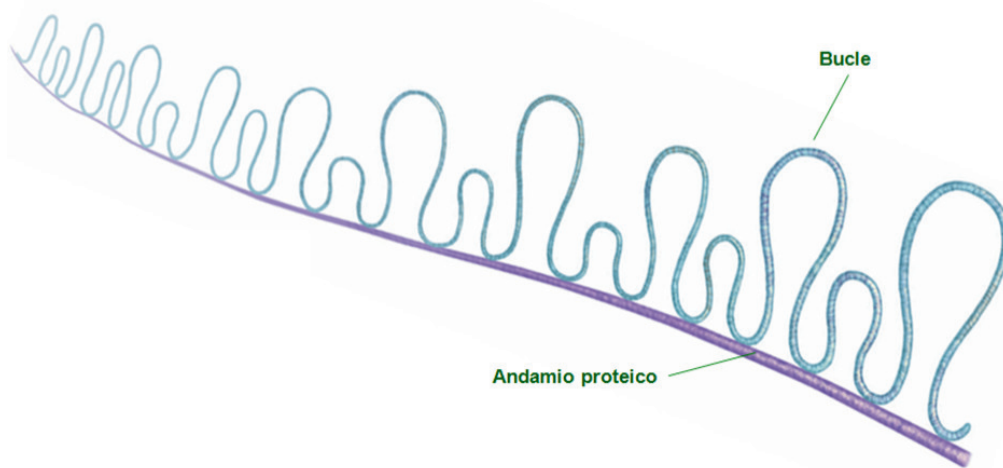
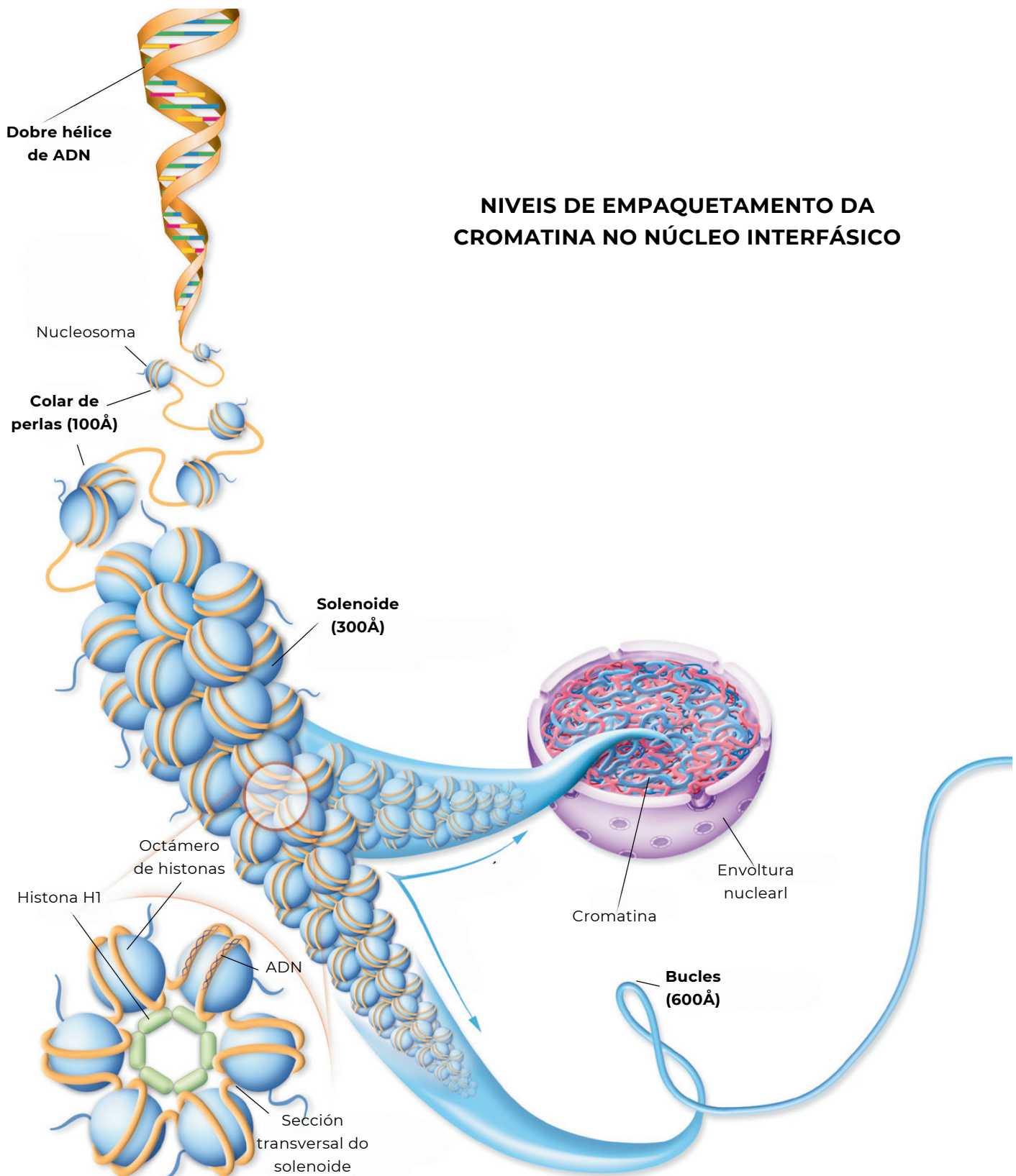


Figura 18. Estrutura da fibra de 600Å na que se observa unha secuencia de bucles ancorados ó andamio proteico central dos cromosomas.



NIVEIS DE EMPAQUETAMENTO DA CROMATINA NO NÚCLEO INTERFÁSICO

Figura 19. Representación dos niveis de empaquetamento da cromatina dunha célula que se atopa na interfase do ciclo celular. Esta configuración permite que os xenes sexan accesibles polo aparato encimático encargado da súa transcripción e replicación e por iso é característico das células activas que non se están dividindo por mitose ou meiose.

NIVEIS SUPERIORES DE EMPAQUETAMENTO

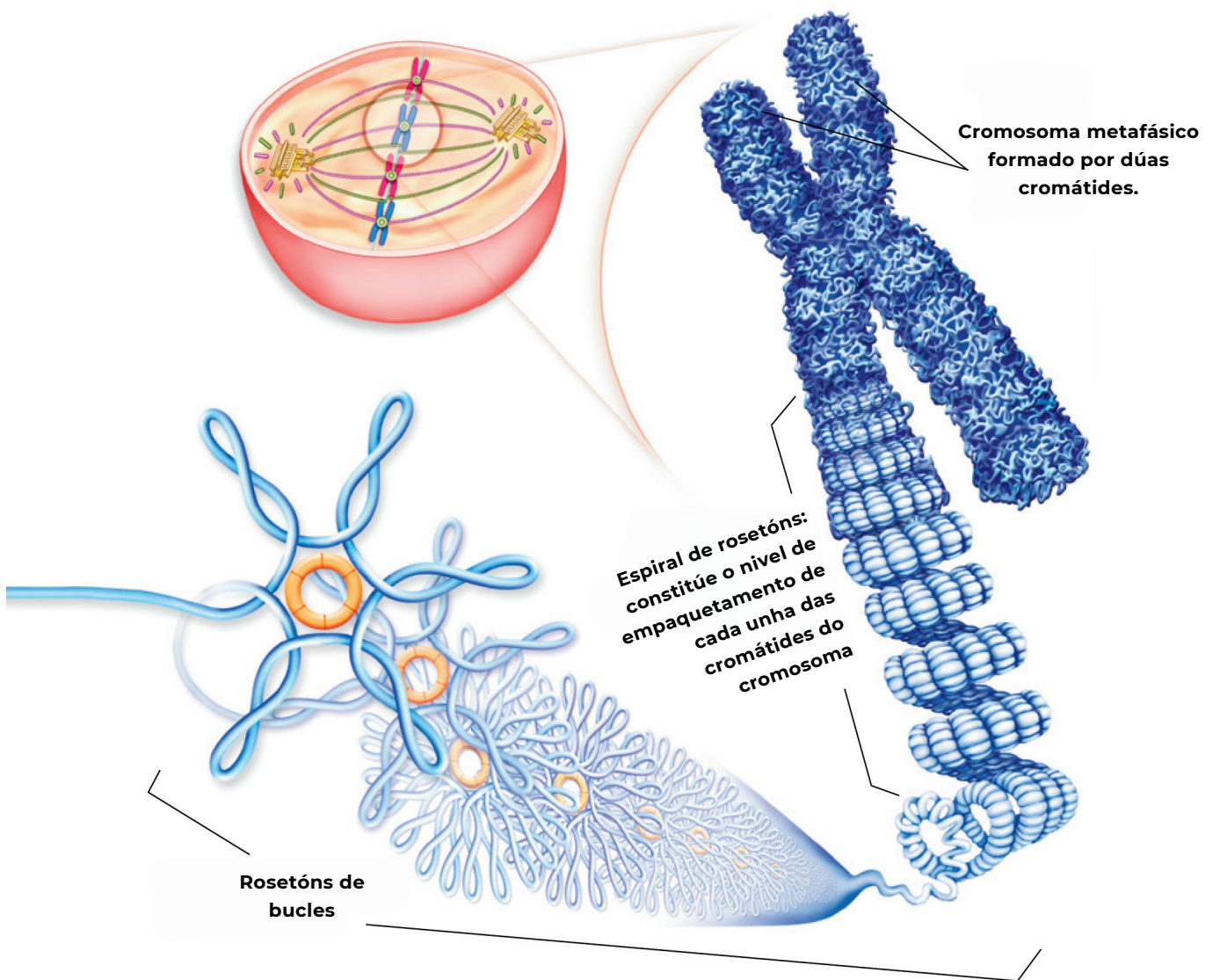


Figura 20. Representación dos niveis de empacotamento do cromosoma metafásico dunha célula que se atopa na fase de división do ciclo celular. 6 dos bucles que coforman a cromatina dispóñense de forma enrolada en torno a un eixe central proteico, dando lugar a rosetóns. Estes rosetóns adquiren unha configuración en espiral que conforma a estrutura de cada unha das dúas cromátides que forman o cromosoma.

5.6. TIPOS E LOCALIZACIÓNS DO ADN

As moléculas de ADN pódense clasificar segundo a súa estrutura (monocatenario ou bicatenario), segundo a súa forma (liñal ou circular) e segundo a súa forma de empacquetarse (asociado ou non asociado a histonas).

- No núcleo das células eucariotas é bicatenario (dúas cadeas, febras ou filamentos) liñal, asociado a proteínas histonas ou protaminas (no caso exclusivo dos espermatozoides).

Nas células procariotas, e nas mitocondrias e cloroplastos das células eucariotas, é bicatenario circular e superenrolado. Pode estar associado a proteínas semellantes ás

histonas, a ARN e a proteínas non histónicas.

- Nos virus, é monocatenario (unha cadea) ou bicatenario, liñal ou circular. Pode estar asociado con proteínas básicas propias ou con histonas da célula parasitada.

5.7. FUNCIÓN BIOLÓXICA DO ADN

O ADN almacena e conserva a información xenética e nel reside a información necesaria para a síntese de todas as proteínas do organismo.

A outra importante función que desempeña é a autoduplicación, isto é, cada molécula de ADN pode orixinar dúas réplicas idénticas de si mesma, coa mesma composición e secuencia de bases que a molécula orixinal. Deste xeito, a información xenética transmítese de xeración en xeración.

6. ÁCIDO RIBONUCLEICO

O ARN ou ácido ribonucleico é unha macromolécula monocatenaria formada por ribonucleótidos de adenina, guanina, citosina e uracilo, unidos mediante enlaces fosfodiéster en sentido 5'→3'. Ademais destas catro bases poden aparecer outras, que na maioría dos casos son os seus derivados metilados.

O ARN tamén pode adoptar distintos niveis estruturais:

- Estrutura primaria: é a secuencia de nucleótidos da molécula.
- Estrutura secundaria: é a disposición espacial de determinadas rexións da moléculas de ARN. Nelas o ARN prégase formando forquitas de dobre cadea que se estabilizan grazas á formación de pontes de hidróxeno intramoleculares entre as bases nitroxenadas (segundo a lei de emparellamento de bases vista anteriormente). Tamén se forman bucles de nucleótidos non apareados.
- Estrutura terciaria: en ocasións o ARN prégase adoptando unha estrutura tridimensional que se mantén estable grazas á formación de pontes de hidróxeno. Este é o caso do ARN de transferencia, por exemplo.

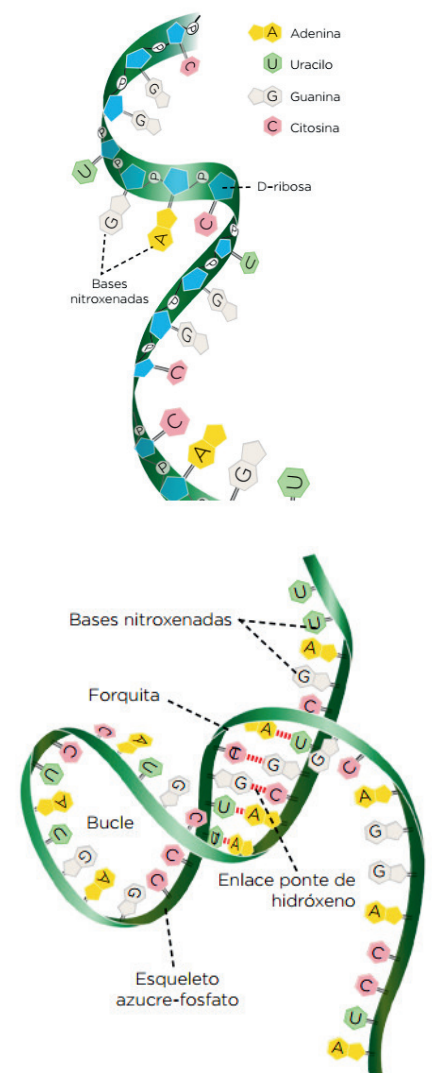


Figura 21. Estruturas primaria (arriba) e secundaria (abaixo) do ARN

6.1. TIPOS E FUNCIÓNS DO ARN

ARN MENSAXEIRO (ARNm)

Constitúe entre o 2% e o 5% do total de ARN. Presenta unha estrutura basicamente liñal. O ARNm sintetízase no núcleo durante un proceso de transcrición, e a súa secuencia de bases é complementaria a un fragmento de ADN molde. Unha vez formado trasládase ao citoplasma, onde, en asociación cos ribosomas, se sintetizan as proteínas. Por tanto, a función do ARNm é ser o intermediario no traslado da información xenética do ADN do núcleo ao citoplasma.

Nos eucariotas, o ARNm chámase monocistrónico ou monoxenético, xa que porta a información para que se sintetice unha única proteína. Nos procariotas, cada molécula de ARNm contén información separada para a síntese de varias proteínas distintas, e denomínase policistrónico ou polixenéticos.

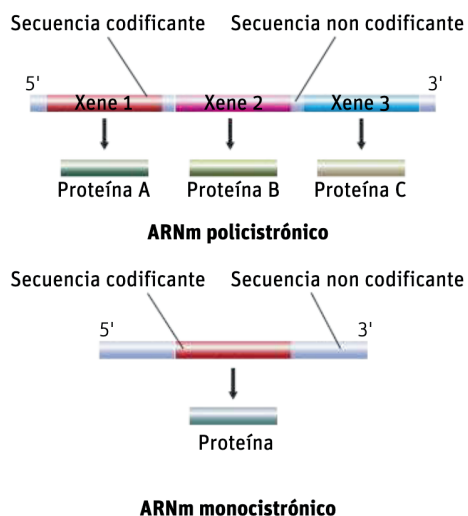


Figura 22. Nos organismos procariotas o ARNm é policistrónico ou polixenético porque posúe información para a síntese de varias proteínas (arriba). Porén, nos organismos eucariotas, o ARNm é monocistrónico ou monoxenético porque só posúe información para a síntese dunha única proteína.

ARN TRANSFERENTE (ARNt)

Constitúe o 15% do ARN total. Unha das características do ARNt é a presenza de nucleótidos con bases nitroxenadas diferentes ás habituais. Adopta unha estrutura en “folla de trevo” cando a molécula está parcialmente despregada; deste xeito, algunhas zonas da molécula presentan estrutura en forma de dobre hélice, e outras onde non existe apareamento de bases constituíndo bucles ou asas. Distínguense un brazo D e a súa asa, un brazo T e a súa asa, un brazo chamado anticodón (complementario dun fragmento de ARNm chamado codón) e a súa asa, e un brazo aceptor de aminoácidos formado por un triplete de bases nitroxenadas (ACC) sen aparear ó que se une o aminoácido que vai transportar cara o ribosoma.

A función do ARNt é captar os aminoácidos específicos no citoplasma e transportalos ata os ribosomas, onde, seguindo a secuencia ditada polo ARNm, se sintetizan as proteínas.

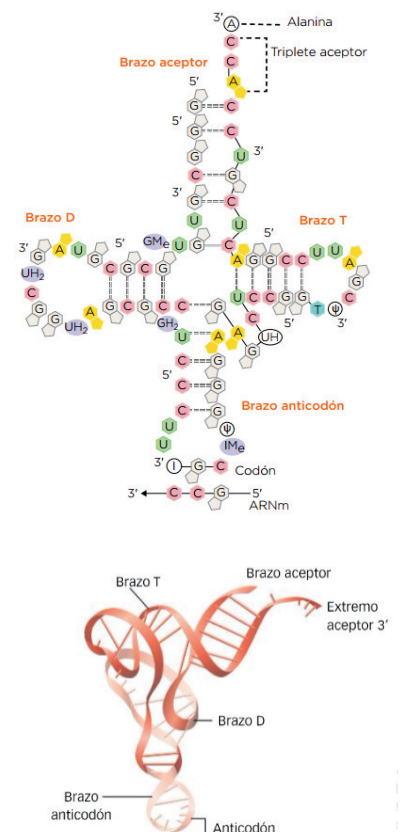


Figura 23. Estrutura tridimensional do ARNt

ARN RIBOSÓMICO (ARNr)

Constitúe até un 80% do total de ARN dunha célula. É o ARN que constitúe, en parte, os ribosomas. Presenta segmentos liñais e segmentos en dobre hélice (estrutura secundaria), debido á presenza de secuencias complementarias de ribonucleótidos ao longo da molécula. Ao asociarse coas proteínas ribosómicas adquire estrutura terciaria.

A función do ARNr é formar parte dos ribosomas e aloxar ao ARNm, a partir do cal se traducen as proteínas.

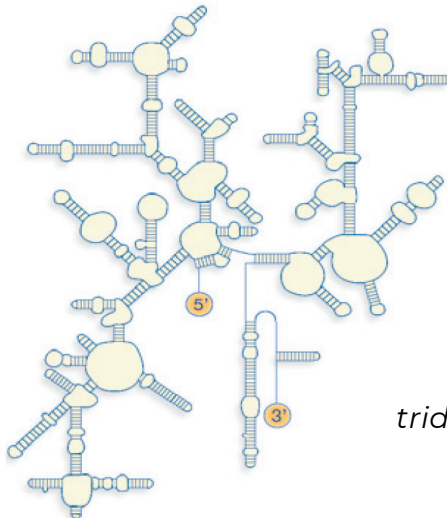


Figura 24. Estrutura tridimensional do ARNr 16S de *Escherichia coli*.

OUTROS TIPOS DE ARN

- ARN nucleolar (ARNn): atópase asociado a diferentes proteínas formando o nucléolo. Orixínase no núcleo a partir de diferentes segmentos de ADN; o principal deles denomínase rexión organizadora nucleolar, a partir da cal se sintetiza un transcrito único que posteriormente se fragmenta e dá orixe aos diferentes tipos de ARNr. É dicir, o ARNn é o precursor dos distintos tipos de ARNr.
- ARN pequeno nuclear (ARNpn): trátase dunha molécula moi pequena que se atopa no núcleo das células eucariotas, onde se une a proteínas nucleares formando as ribonucleoproteínas nucleares, que están implicadas no proceso de maduración do ARNm ó eliminar os intróns (zonas non codificantes).
- ARN de interferencia (ARNi): trátase dunha molécula bicatenaria duns 20-25 nucleótidos que impiden a expresión de determinados xenos. Posúen secuencias complementarias a determinados ARNm e provocan ben a súa degradación, ben o bloqueo da súa tradución polo ribosoma.
- ARN antisentido: é unha molécula de ARN complementaria a un ARNm. Cando se une a el forma unha dobre cadea e bloquea a súa tradución, constituíndo un mecanismo de regulación da expresión dalgúns xenos.
- Ribozimas: son moléculas con complexas estruturas tridimensionais e función catalítica.
- ARNs autocatalíticos: son capaces de autodividirse en fragmentos por sí mesmos, sen intervención de enzimas.