



Colegio de  
**San Francisco de Paula**

# Tema 1. Biología Molecular

## 1.6 Estructura del ADN y el ARN



Germán Tenorio  
Biología NM-Diploma BI



Cambridge, 1953. Shortly before discovering the structure of DNA, Watson and Crick, depressed by their lack of progress, visit the local pub.

**Idea Fundamental:** La estructura del ADN permite un almacenamiento eficiente de la información genética.

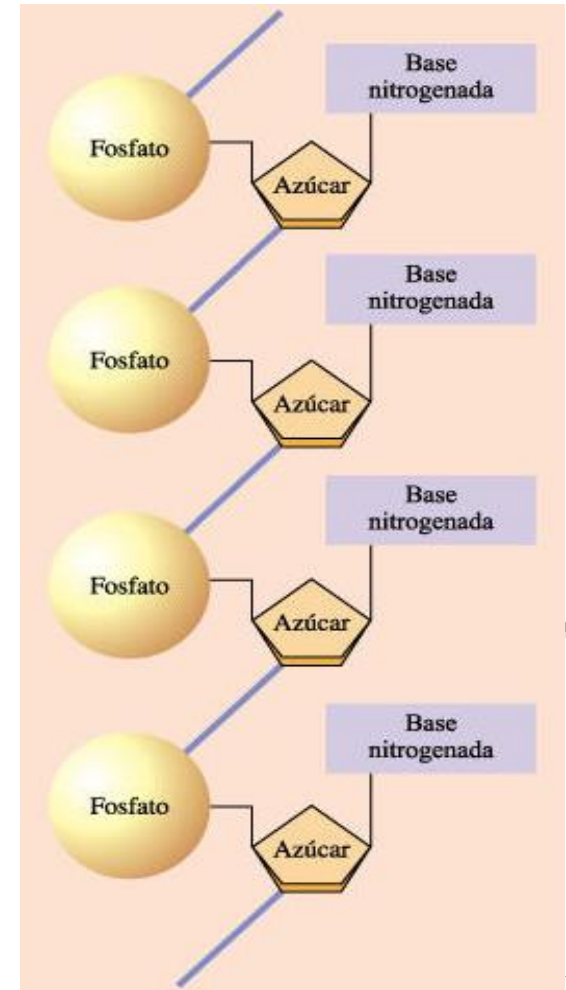
San Francisco de Paula  
Bachiller

XXXXXXXXXX



## Ácidos nucleicos

- **Concepto:** Biopolímeros no ramificados formados por la unión de subunidades o monómeros denominados **nucleótidos**.
- **Importancia biológica:** Contienen la **información genética**, es decir, información codificada que permite a los organismos disponer de todo lo necesario para desarrollar sus ciclos biológicos, y no sólo portando el mensaje (genes), sino también con las instrucciones precisas para su lectura.  
Los ácidos nucleicos **dirigen y controlan la síntesis de proteínas**, proporcionando la información que determinan su especificidad y características biológicas.
- Existen dos tipos de ácidos nucleicos, el **ácido desoxirribonucleico (ADN)** y el **ácido ribonucleico (ARN)**.



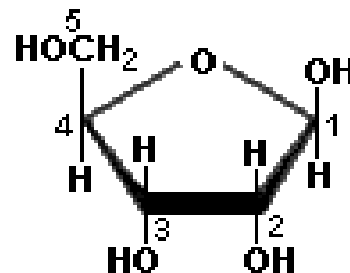
XXXXXXXXXX



## Nucleótidos

- Unidades básicas (monómeros) que forman a los ácidos nucleicos, es decir, **los ácidos nucleicos ADN y ARN son polímeros de nucleótidos.**
- Ellos mismos son moléculas complejas que resultan de la combinación de:
  - Una molécula de ácido fosfórico en forma de **grupo fosfato** (en algunos nucleótidos puede haber más de un grupo fosfato) con cargas negativas.

- Un **azúcar (pentosa).**



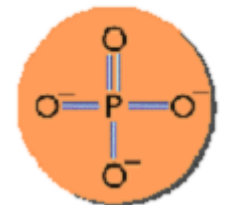
PENTOSA (Ribosa)

- Una **base nitrogenada.**



BASE NITROGENADA  
(Adenina)

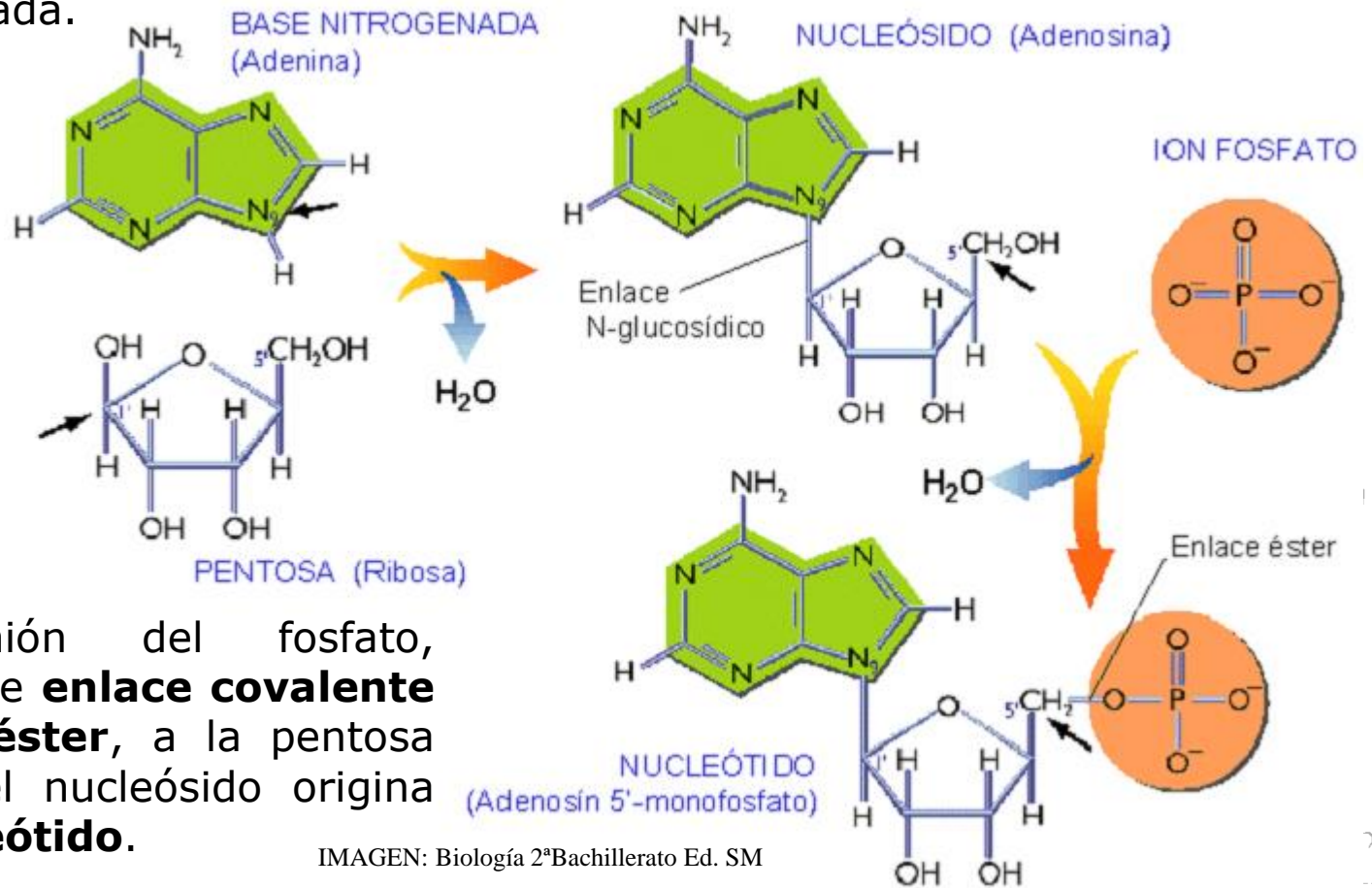
ION FOSFATO





## Estructura de los nucleótidos

- Se denomina **nucleósido** a la molécula resultante de la unión mediante **enlace covalente N-glucosídico** entre la pentosa (C1) y la base nitrogenada.

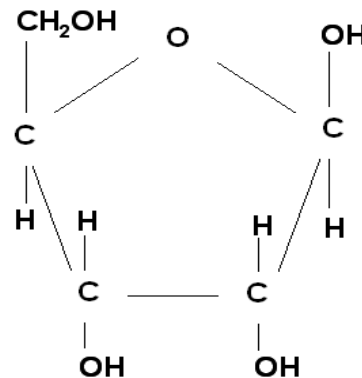


- La unión del fosfato, mediante **enlace covalente fosfodiéster**, a la pentosa (C5) del nucleósido origina el **nucleótido**.

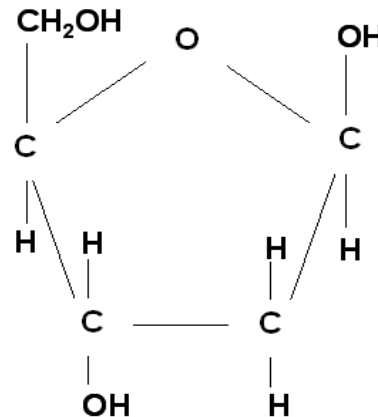


## Estructura de los nucleótidos: Pentosa

- La pentosa es siempre una **aldopentosa**, pudiendo ser de dos tipos:  
+ **ribosa**, y en este caso el nucleótido se denomina **ribonucleótido**.



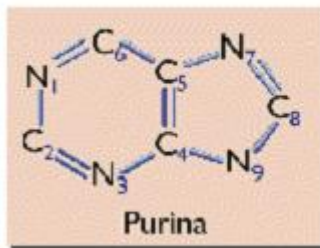
- + **desoxirribosa**, constituyente de los **desoxirribonucleótidos**.



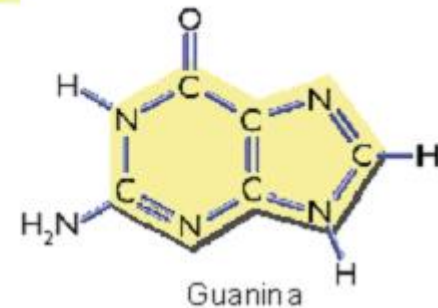
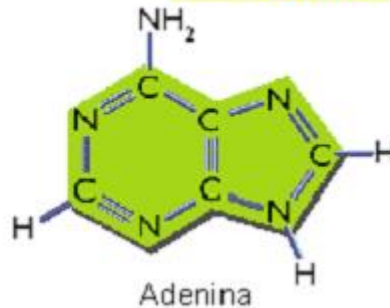


## Estructura de los nucleótidos: Base nitrogenada

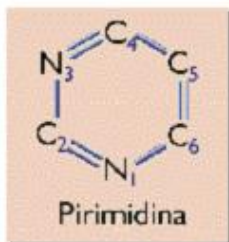
- La base nitrogenada también puede ser de dos tipos:
  - **Púricas**, derivadas de la purina (2 anillos en su estructura): **Adenina (A)** y **Guanina (G)**.



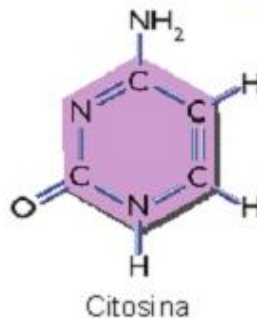
### PÚRICAS



- **Pirimidínicas**, derivadas de la pirimidina (1 anillo en su estructura): **Citosina (C)**, **Timina (T)** y **Uracilo (U)**.



### PIRIMIDÍNICAS



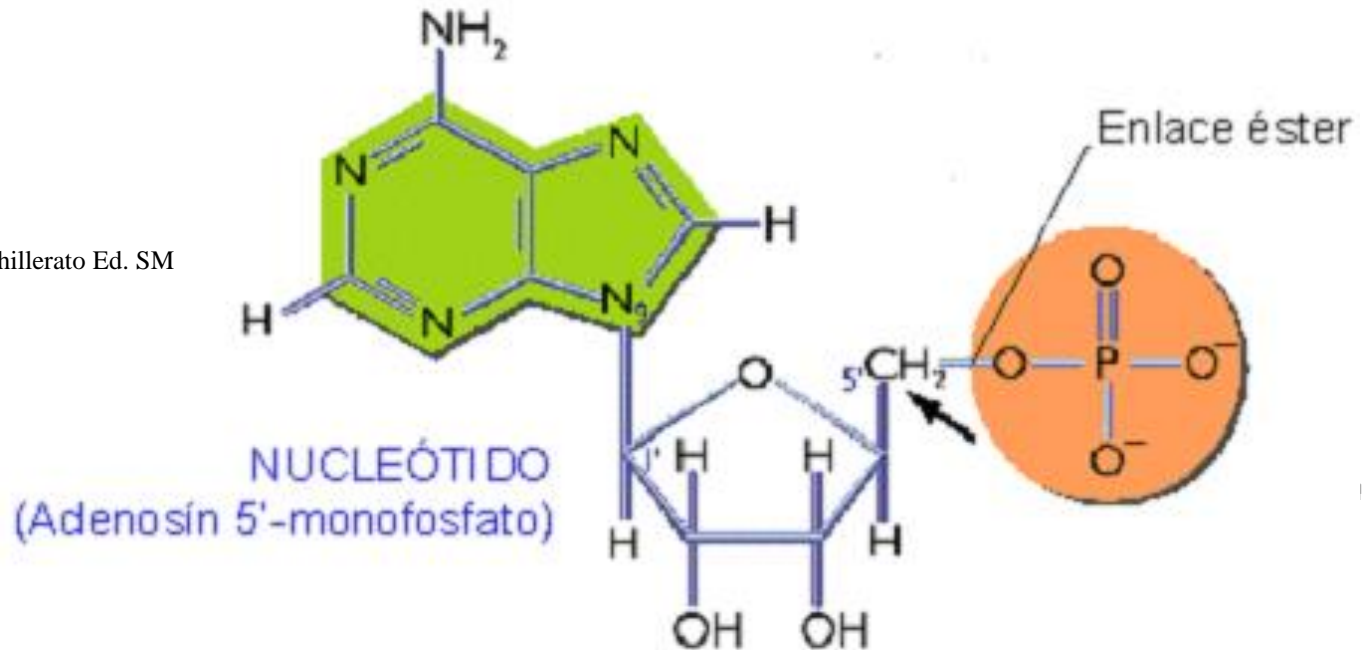




## Estructura de los nucleótidos

- Los nucleótidos formados con la ribosa se llaman **ribonucleótidos** y su base nitrogenada puede ser Adenina, Guanina, Citosina o Uracilo.

IMAGEN: Biología 2ºBachillerato Ed. SM

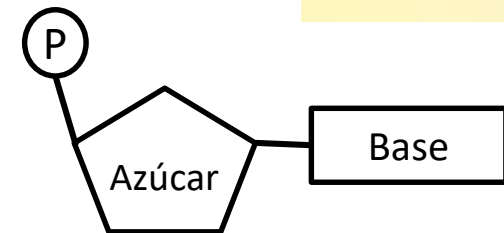
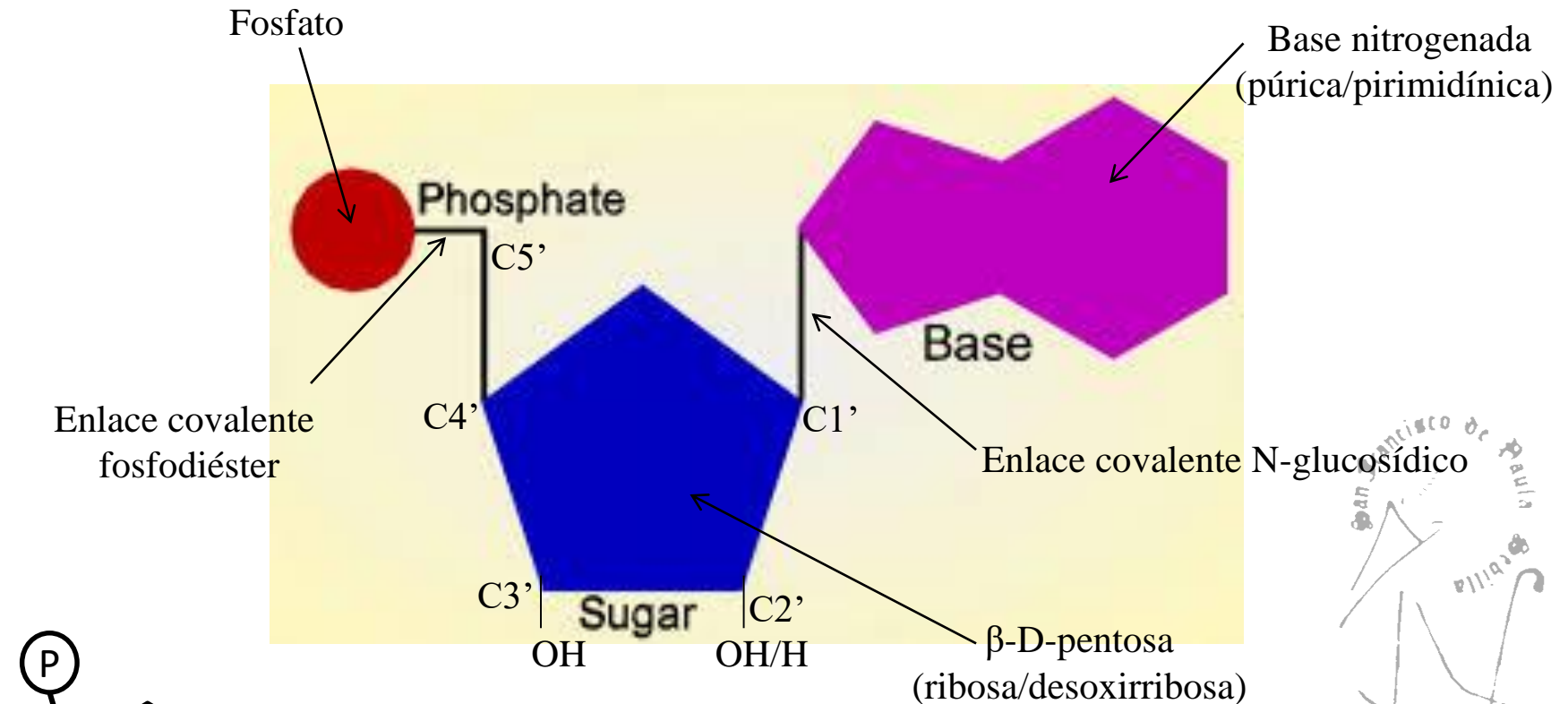


- Los nucleótidos formados con la desoxirribosa se llaman **desoxirribonucleótidos** y su base nitrogenada puede ser Adenina, Guanina, Citosina o Timina.

*Handwritten signature and scribbles.*



# HABILIDAD: Diagrama estructura nucleótidos



Representación simplificada  
de un nucleótido

- **Dibujo de diagramas simples de la estructura de nucleótidos individuales de ADN y ARN usando círculos, pentágonos y rectángulos para representar fosfatos, pentosas y bases.**

XXXXXXXXXX





## Unión entre nucleótidos: Enlace fosfodiéster

- Los nucleótidos pueden unirse mediante un enlace covalente éster fosfórico (fosfodiéster), entre el grupo fosfato situado en posición 5' de un nucleótido y el grupo OH que se encuentra en el carbono 3' del otro nucleótido.

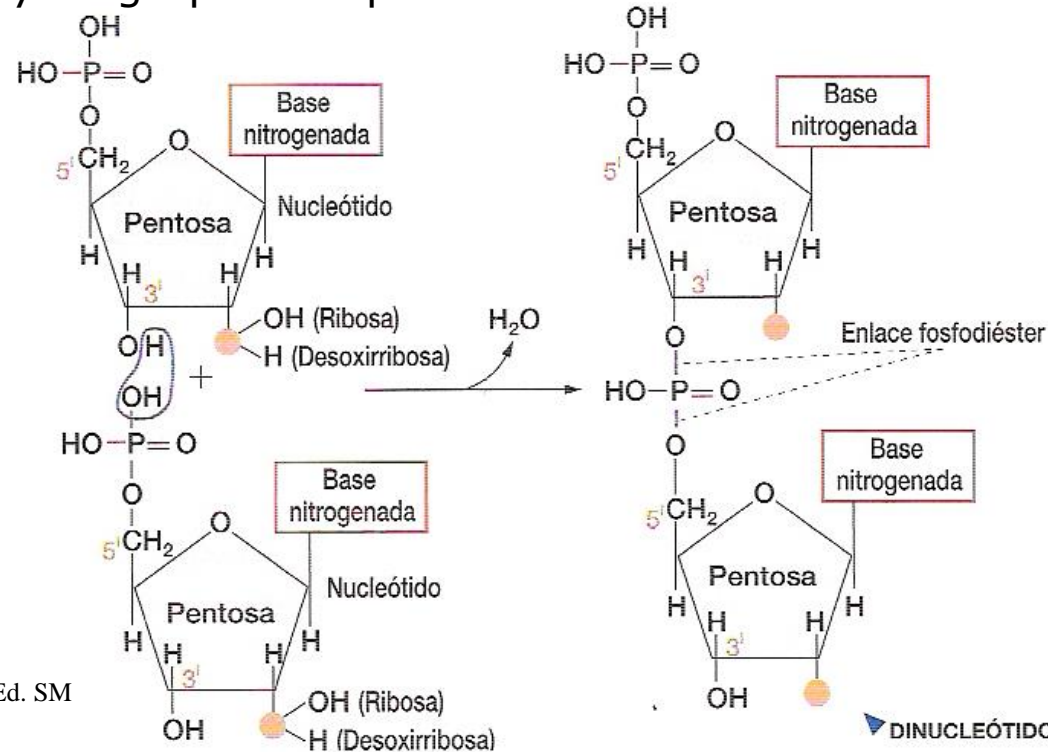


IMAGEN: Biología 2ºBachillerato Ed. SM

- Se trata de una reacción de **condensación**, en la que se libera una molécula de agua. La **hidrólisis** del dinucleótido libera los dos mononucleótidos.

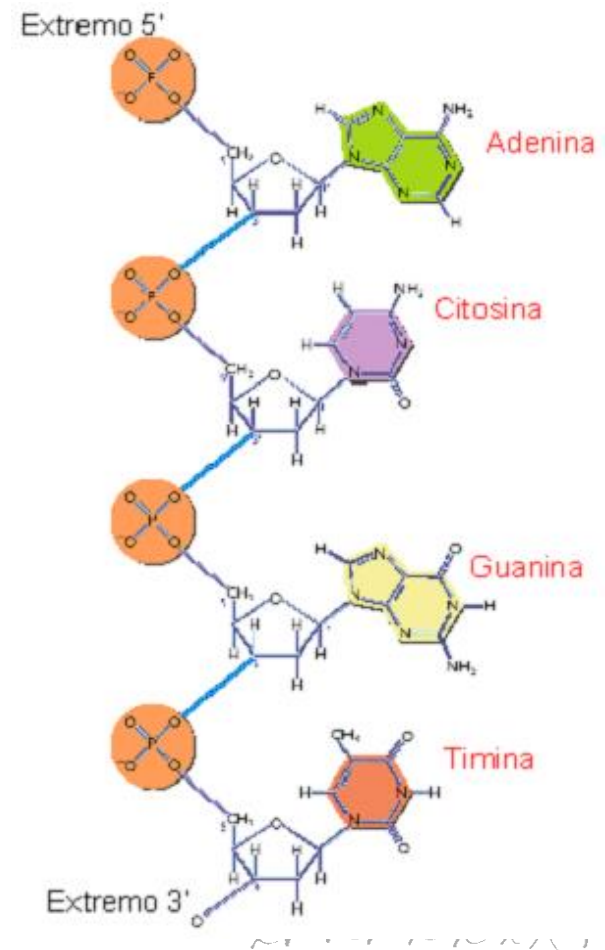


## Unión entre nucleótidos: Enlace fosfodiéster

- Se pueden unir más nucleótidos, formándose trinucleótidos, etc. La unión de muchos de ellos forman largas cadenas denominadas **ácidos nucleicos (polinucleótidos)**.
- **Los ácidos nucleicos ADN y ARN son polímeros de nucleótidos.** Si los nucleótidos que se unen son ribonucleótidos, se llama **ácido ribonucleico (ARN)**, y si son desoxirribonucleótidos se llama **ácido desoxirribonucleico (ADN)**.
- En todos los polinucleótidos existe un extremo, denominado 3', con una pentosa con el grupo OH del carbono 3' libre, y otro extremo, denominado 5', con una pentosa cuyo grupo fosfato del carbono 5' se encuentra libre.

**5' ACGT 3'**

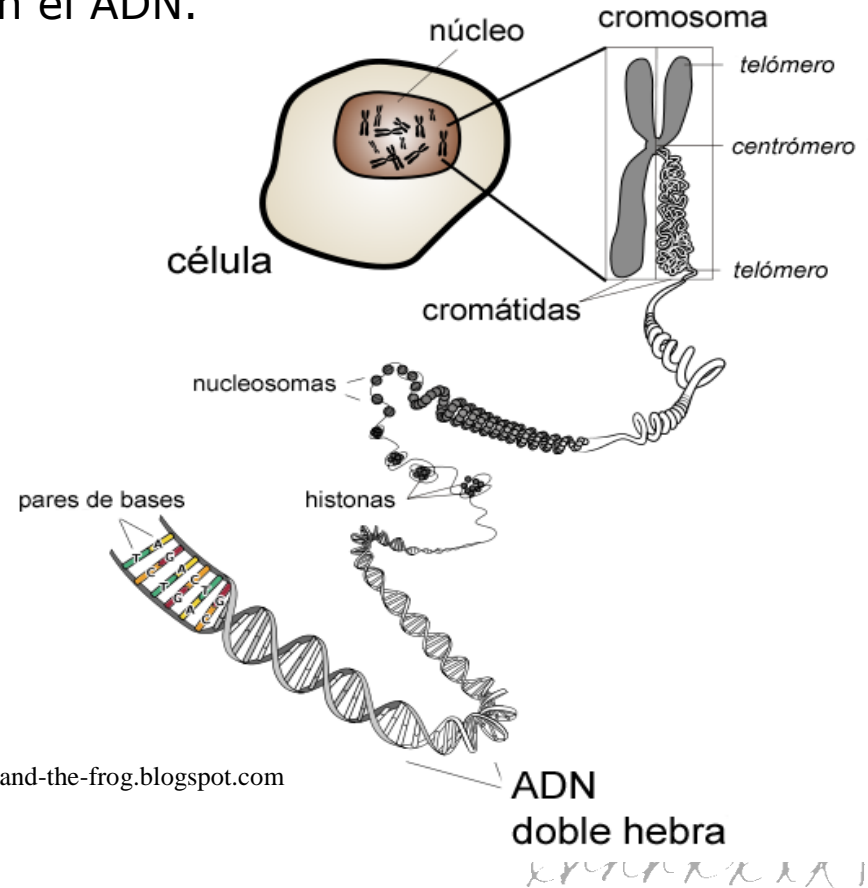
IMAGEN: Biología 2ºBachillerato Ed. SM





# Ácido desoxirribonucleico (ADN)

- Está constituido por macromoléculas lineales formadas por la polimerización de **desoxirribonucleótidos-5' monofosfato** de **adenina (A)**, **guanina (G)**, **citosa (C)** y **timina (T)**. No existen desoxirribonucleótidos de uracilo en el ADN.
- En medio acuoso, los largos filamentos de ADN adoptan una estructura tridimensional que presenta estructuras primaria y secundaria.
- No obstante, cuando el ADN se asocia a determinadas proteínas para su empaquetamiento, puede alcanzar niveles de gran complejidad, que se podrían considerar estructura terciaria.



**Web3**

IMAGEN: the-scorpion-and-the-frog.blogspot.com



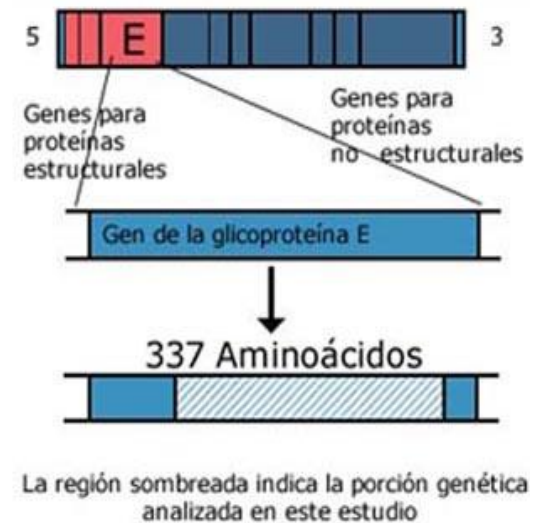
# Estructura primaria del ADN

- Consiste en la formación de largas cadenas de polinucleótidos por la unión de **desoxirribonucleótidos-5' monofosfato** mediante enlace fosfodiéster.
- Por tanto, la estructura primaria del ADN es la **secuencia de los nucleótidos** que lo forman.
- La secuencia en que aparecen los cuatro tipos de bases de las moléculas de ADN **determina las características biológicas** de la célula o del individuo que la contiene.
- En esta secuencia reside la información necesaria para la síntesis de proteínas.

```

aagcaggagaactggaatgctgatattaagactctcaaatgtgatgccctgtcaggttct
K O E N W N A D I K T L K F D A L S G S
caggaggctgagttcactggatacgggaaggccacactggagtgccaaagtacaaaccga
Q E A E F T G Y G K A T L E C Q V Q T A
gtggacttttagcaacagctacattgcagagatggagaaagagagctggattgtggataga
V D F S N S Y I A E M E K E S W I V D R
cagtgggtcacaagatttgacctaccttggcagagtggaagtggcggtgtgtggagagag
Q W A Q D L T L P W Q S G S G G V W R E
atgcaccatcttgggaattcgagcctccacatgctgcaactatcaaaagtgttggctctt
M H H L V E F E P P H A A T I K V L A L
ggaaaccaagaaggctctcttgaaagacagctctcactgggtccaatgggggtacaaaggac
G N Q E G S L K T A L T G P M R A T K D
acaaatggcagcaacctgtacaaagctgcattggggggcagctctcatgttagagtgaaattg
T N G S N L Y K L H G G H V S C R V K L
tcagttctgacactcaagggaacgtcttacaagatgtgcaccgataaaatgtcttctgtc
S V L T L K G T S Y K M C T D K M S F V
aagaatccaactgatactggacatggcactgcccgtgatgcaggtaaaagtgcacaaaggga
K N P T D T G H G T A V M Q V K V P K G
gccccctgcaggatccagtgatggtgatgctcacagcgtcagtcacacaaaggc
A P C R I P V M V A D D L T A S V N K G
atttttagtcacagtttaatacactgacctccactaatgaggatgagggtgttattgagggtg
I L V T V N P I A S T N E D E V L I E V
aaccocccctttggggatagctatatcatagttgggacaggggactctcgtctgacttac
N P P F G D S Y I I V G T G D S R L T Y
cagtggcacaaggaggggcagctcnaataggggaagttgtttactcagaccatgaagggcgcg
Q W H K E G S S I G K L F T Q T M K G A
gagcgttggccgttatgggggatgctgcttgggacttttagctctgtctggaggatttttc
E R L A V M G D A A W D F S S A G G F F
acatcagtcggaaagggaatacacatggtgttttggctctgccttttcaggg
T S V G K G I H M V F G S A F Q

```



XXXXXXXXXX



## Estructura secundaria del ADN

- Existen dos formas de ADN denominadas A y B. La forma A aparece por deshidratación de la forma B, que es biológicamente más importante.
- Su estructura secundaria fue propuesta por **Watson y Crick** en **1953**, y consiste en una **doble hélice** de ADN **dextrógira (ADN-B)** formada por dos cadenas de nucleótidos (unidos por enlaces covalentes) enfrentadas y unidas mediante **enlaces de hidrógeno entre sus bases nitrogenadas**. Esta estructura tiene las siguientes **características**:

### Web3

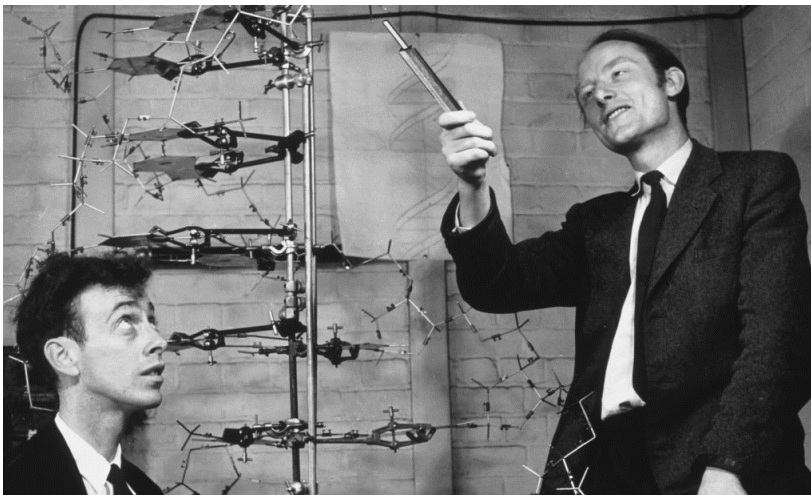
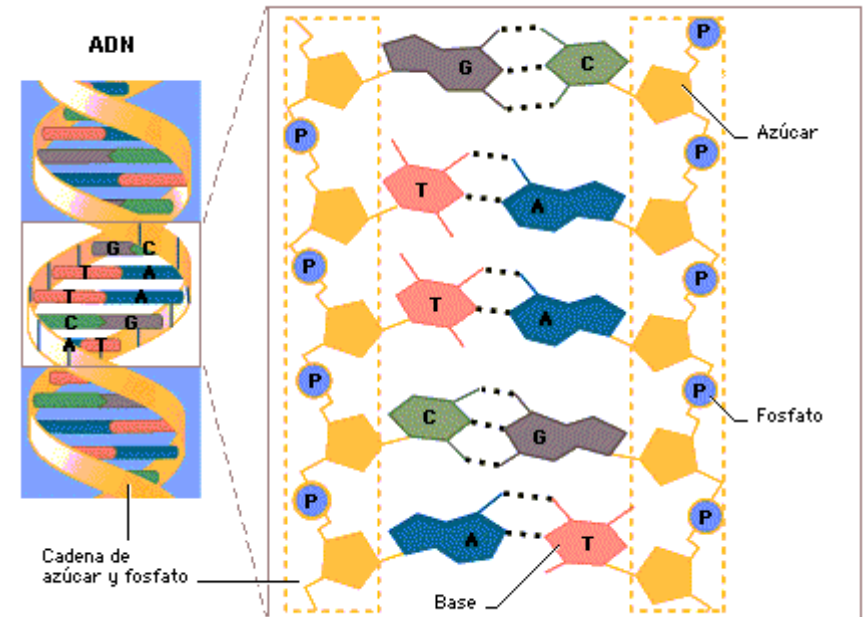


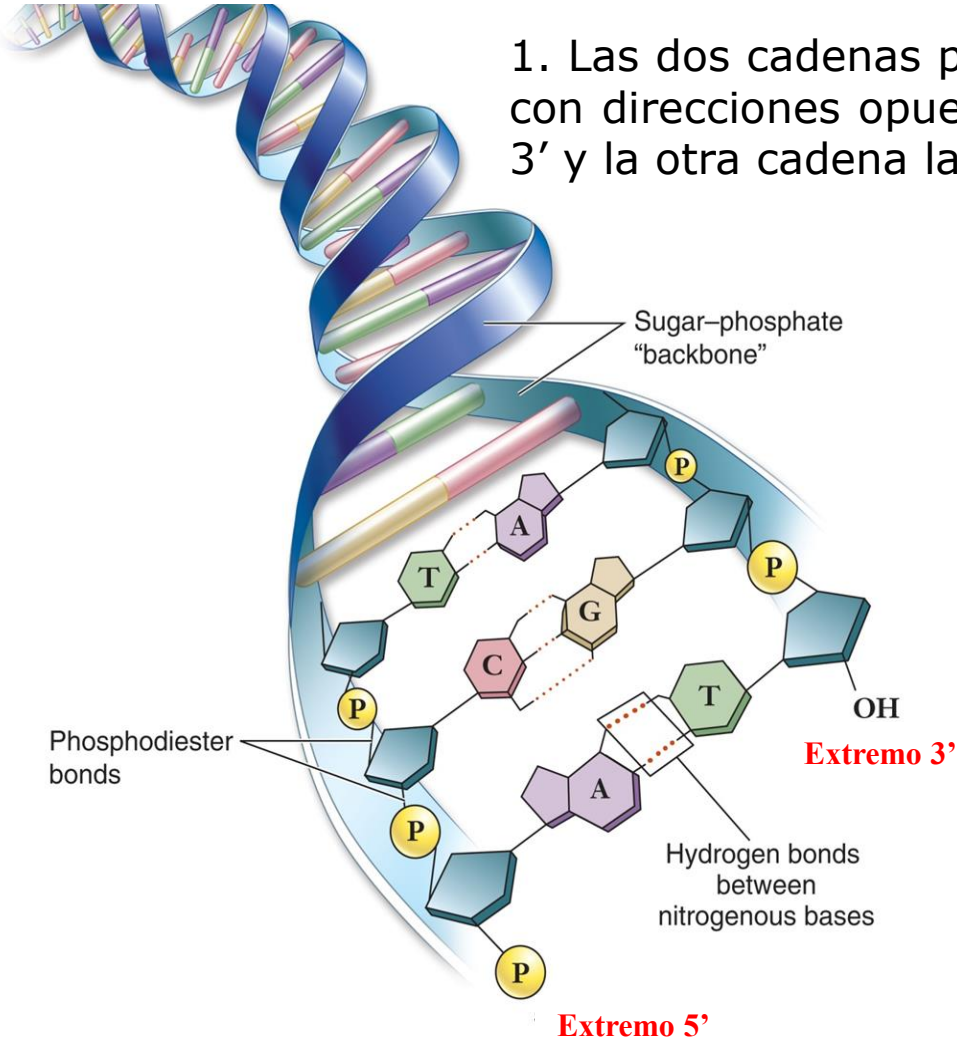
IMAGEN: <http://all-len-all.com>







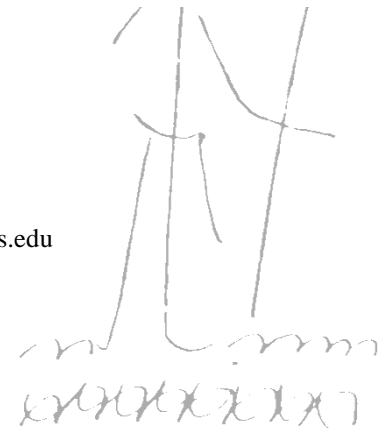
## Estructura secundaria del ADN



1. Las dos cadenas polinucleotídicas son **antiparalelas** con direcciones opuestas. Una presenta la dirección 5'-3' y la otra cadena la dirección 3'-5'.

2. Su configuración más estable es la de una **doble hélice** cuyo armazón es el esqueleto de polidesoxirribosa-fosfato con las bases nitrogenadas hacia el interior estableciendo enlaces de hidrógeno entre ellas para mantener la estructura.

IMAGEN: [legacy.hopkinsville.kctcs.edu](http://legacy.hopkinsville.kctcs.edu)



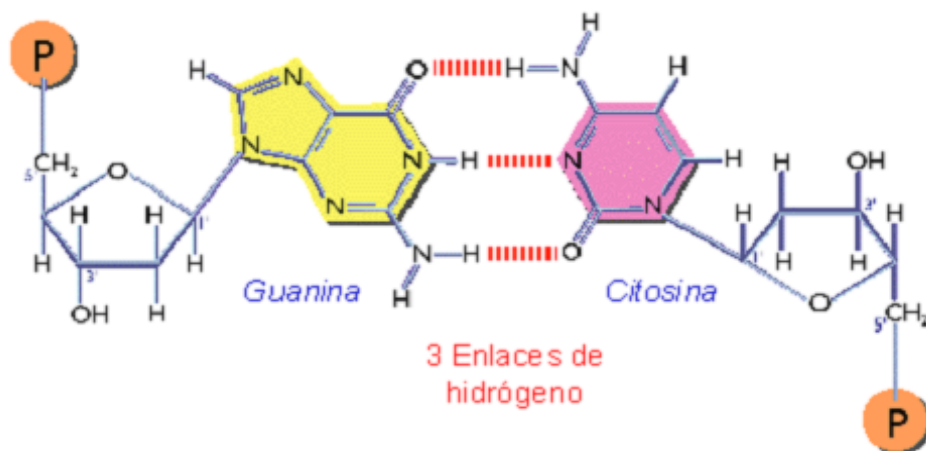




## Estructura secundaria del ADN

3. Las secuencias de bases de ambas cadenas son **complementarias**, pues existe una correspondencia entre las bases de ambas cadenas, de forma que la A solo forma enlaces de hidrógeno con la T (y viceversa) y la G frente a la C (y viceversa).

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

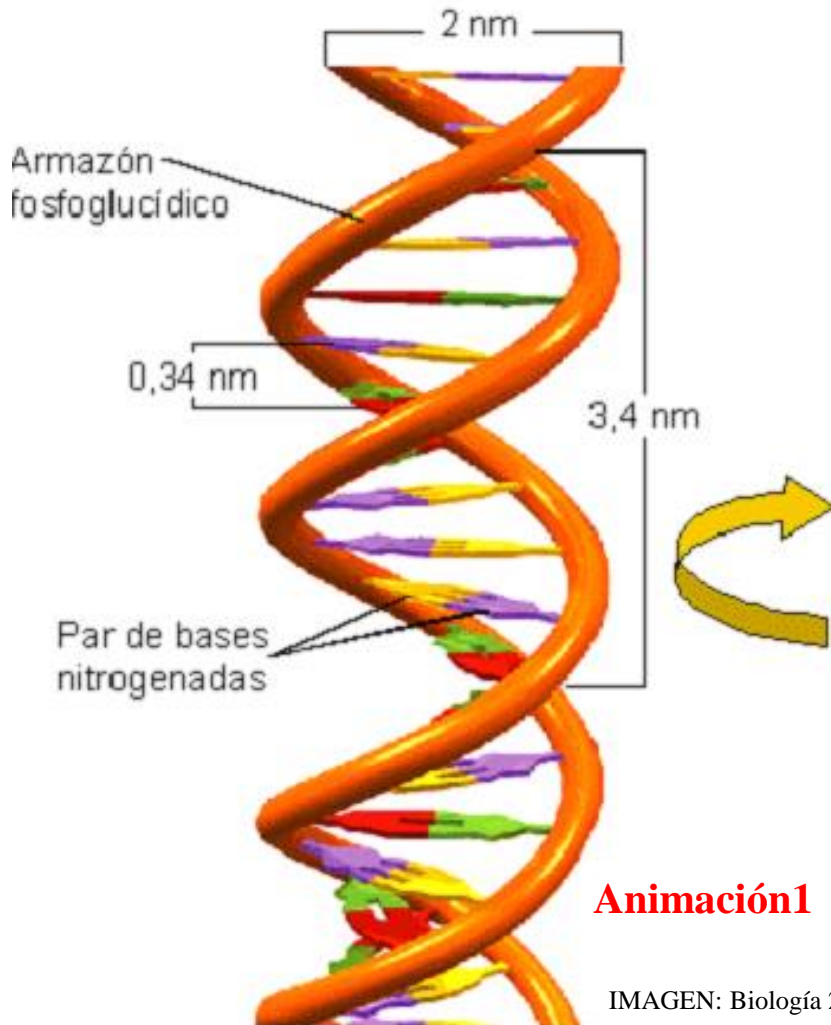


El número de enlaces de hidrógeno depende de la complementariedad de las bases.





## Estructura secundaria del ADN



**Animación1**

4. El enrollamiento entre las dos hebras de la doble hélice es **dextrógiro** (existe una tercera forma de ADN denominada Z que es levógira) y de tipo **plectonémico**, como si estuvieran trenzadas y no se pueden separar sin desenrollarlas.

5. La anchura de la hélice es de 2 nm, la longitud de cada vuelta completa es de 3.4 nm y cada 0.34 nm se encuentra una pareja de bases complementaria, por lo que cada vuelta existen 10 pares de nucleótidos (La forma A tiene 11 pares por vuelta).

6. Los planos de las bases nitrogenadas enfrentadas son paralelos entre sí y perpendiculares al eje de la hélice.





# HABILIDAD: Diagrama estructura del ADN

- Dibuje un diagrama rotulado para mostrar **cuatro** nucleótidos de ADN, cada uno con una base nitrogenada diferente, unidos en **dos** cadenas.

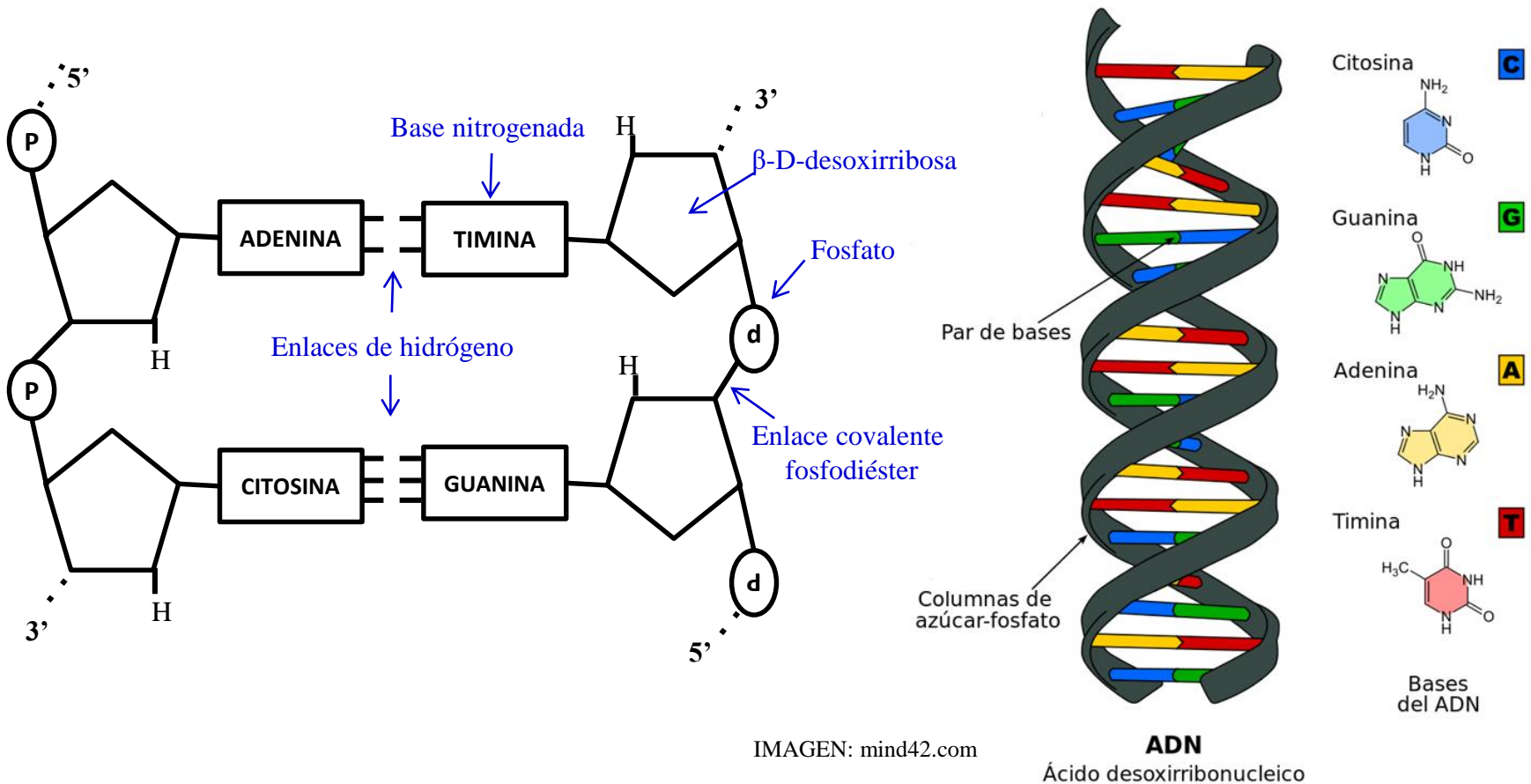


IMAGEN: mind42.com



# NATURALEZA CIENCIAS: Uso de modelos como representación del mundo real

- Al igual que los arquitectos usan maquetas para mostrar cual sería el resultado final de una futura construcción, los científicos usan modelos moleculares tridimensionales, con objeto de predecir la estructura real de una molécula.
- Los modelos científicos no son siempre tridimensionales (modelo de la estructura del ADN) y no siempre proponen estructuras (modelo atómico de Rutherford), sino que también pueden ser conceptos teóricos y pueden representar sistemas (modelo geocéntrico de Ptolomeo) o procesos.

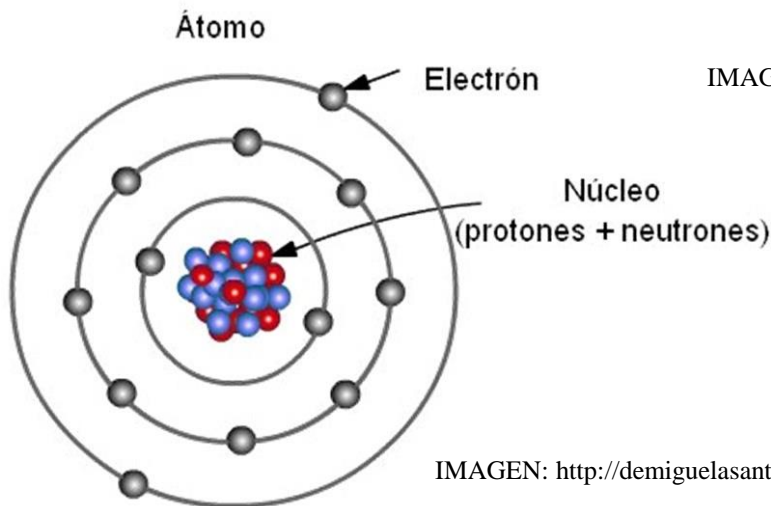
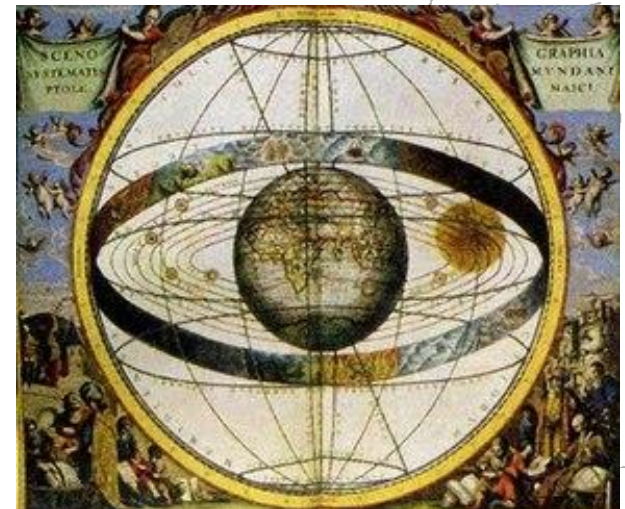


IMAGEN: lasteorias.weebly.com

**Video2**

IMAGEN: <http://demiguelasanti.blogspot.com.es/>





# NATURALEZA CIENCIAS: Uso de modelos como representación del mundo real

- Sin embargo, la característica común de todos los modelos, es que son propuestos para ser comprobados, por lo que los modelos científicos son frecuentemente rechazados y remplazados por otros (cambian con el tiempo).

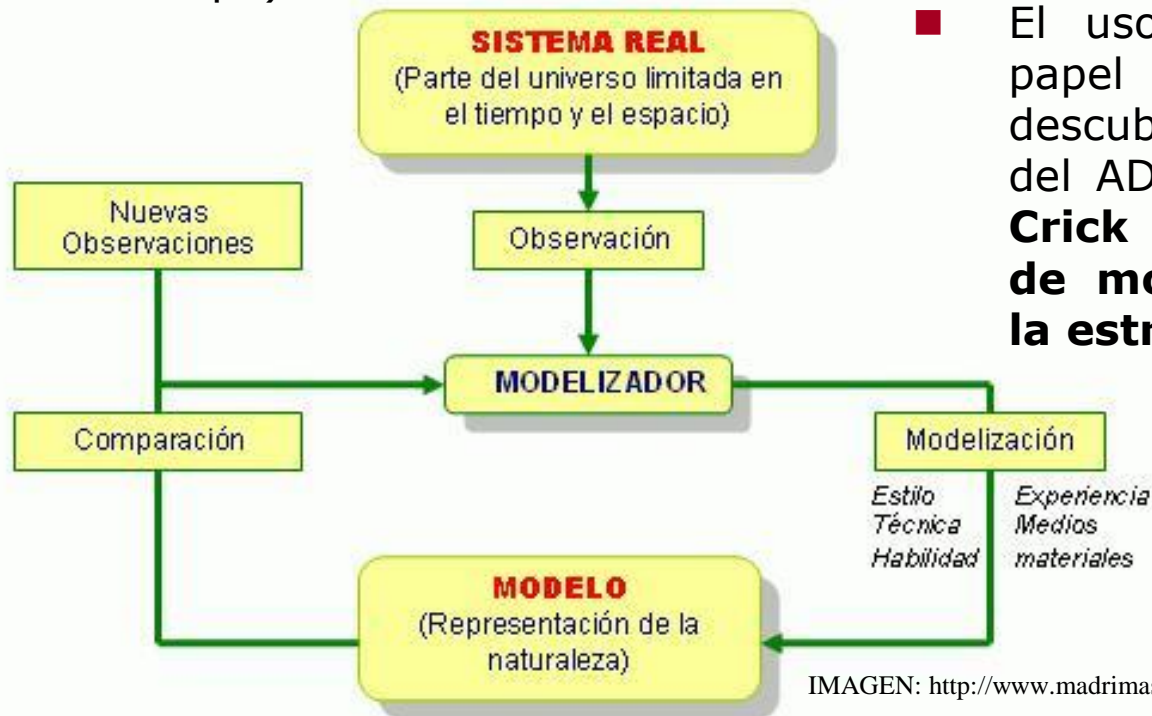
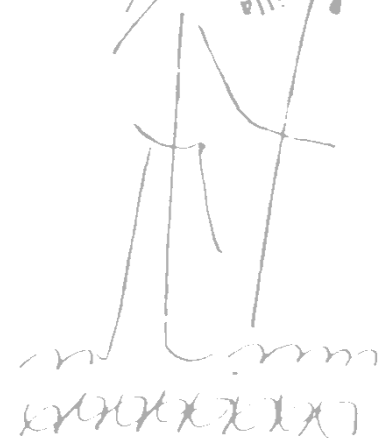


IMAGEN: <http://www.madrimasd.org>

- El uso de modelos jugó un papel crítico en el descubrimiento de la estructura del ADN, dado que **Watson y Crick usaron la elaboración de modelos para descubrir la estructura del ADN.**







## APLICACIÓN: Explicación de Watson y Crick de la estructura del ADN mediante la elaboración de modelos

- El éxito de Watson y Crick en el descubrimiento de la estructura del ADN se basó en el uso de evidencias que les permitió desarrollar posibles estructuras del ADN, comprobando su viabilidad mediante la construcción de modelos.
- Las evidencias en las que se basaron fueron dos, la composición química del ADN y la imagen mediante rayos X del ADN.
- Respecto a la **composición del ADN**, Watson y Crick tuvieron que tener en cuenta para la elaboración de su modelo los descubrimientos de Chargaff en 1952, en los que el número de bases púricas es siempre igual al de bases pirimidínicas (**Ley de Chargaff**).

Organism	%A	%G	%C	%T	A/T	G/C	%GC	%AT
Phi-X174	24,0	23,3	21,5	31,2	0,77	1,08	44,8	55,2
Maíz	26,8	22,8	23,2	27,2	0,99	0,98	46,1	54,0
Pulpo	33,2	17,6	17,6	31,6	1,05	1,00	35,2	64,8
Pollo	28,0	22,0	21,6	28,4	0,99	1,02	43,7	56,4
Rata	28,6	21,4	20,5	28,4	1,01	1,00	42,9	57,0
Humano	29,3	20,7	20,0	30,0	0,98	1,04	40,7	59,3
Saltamontes	29,3	20,5	20,7	29,3	1,00	0,99	41,2	58,6
Erizo de mar	32,8	17,7	17,3	32,1	1,02	1,02	35,0	64,9
Trigo	27,3	22,7	22,8	27,1	1,01	1,00	45,5	54,4
Levadura	31,3	18,7	17,1	32,9	0,95	1,09	35,8	64,4
E. coli	24,7	26,0	25,7	23,6	1,05	1,01	51,7	48,3

IMAGEN: [es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Chargaff](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Chargaff)

*Handwritten signature and scribbles.*





## APLICACIÓN: Explicación de Watson y Crick de la estructura del ADN mediante la elaboración de modelos

- Y por otro lado, el análisis de **imágenes de difracción de rayos X** sobre cristales de ADN obtenidas por los **Rosalind Franklin y Maurice Wilkins** estableció los patrones de simetría de la molécula, lo que permitió desarrollar un modelo con una estructura en forma de hélice con las bases enfrentadas hacia el interior.

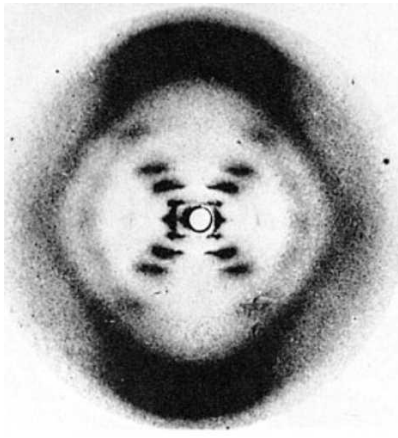


IMAGEN: <http://www.bio1100.nicerweb.com/>



IMAGEN: [sciencemuseum.org.uk/images/1045/10313925.aspx](http://sciencemuseum.org.uk/images/1045/10313925.aspx)

XXXXXXXXXX



## Estructura del ADN y TdC

- Tres grupos de investigación, Watson y Crick en Cambridge, Franklin y Wilkins en el King's College de Londres y Linus Pauling en USA, intentaban delucidar la estructura del ADN.
- La historia de la dilucidación de la estructura del ADN ilustra que **la cooperación y la colaboración entre científicos coexiste con la competición entre grupos de investigación**. ¿En qué medida el "descubrimiento" por parte de Watson y Crick de la estructura tridimensional del ADN dependió del uso de los datos generados por **Rosalind Franklin**, que fueron compartidos sin el conocimiento ni el consentimiento de la científica?
- ¿En que grado es "anticientífica" una investigación llevada en secreto? ¿Cuál es la relación entre el conocimiento compartido y el conocimiento personal en las ciencias naturales?

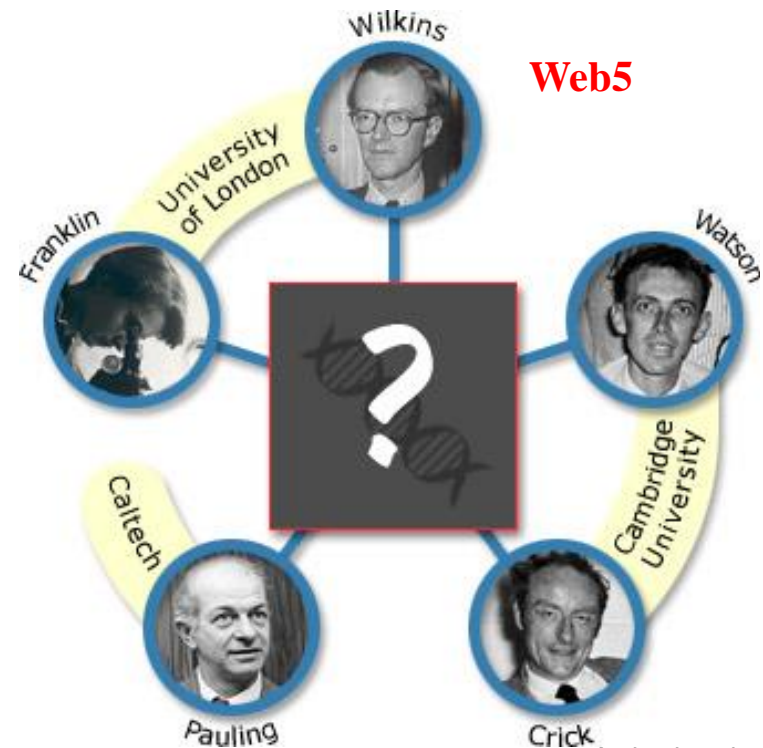


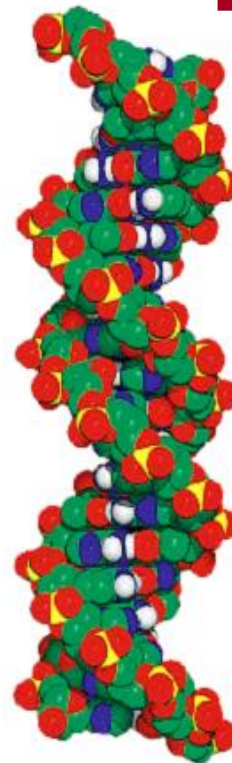
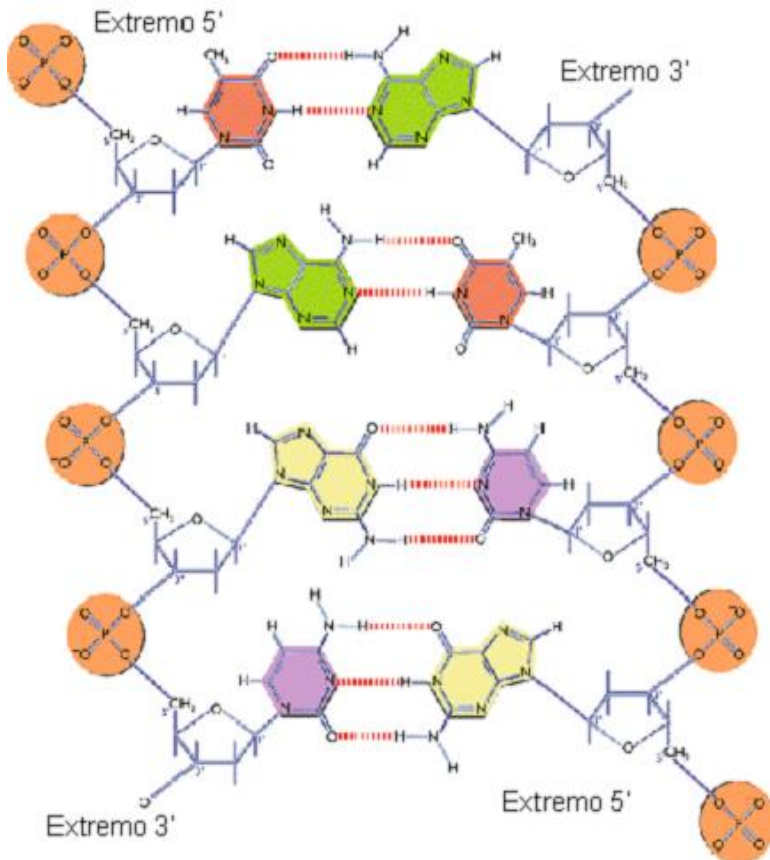
IMAGEN: [http://undsci.berkeley.edu/article/0\\_0\\_0/dna\\_03](http://undsci.berkeley.edu/article/0_0_0/dna_03)

*Handwritten notes:*  
m. l. m.  
XXXXXX

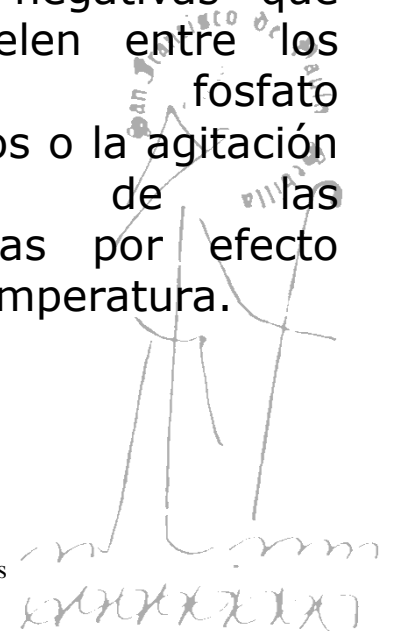


## Desnaturalización del ADN

- El plegamiento y la estabilidad de la doble hélice se consigue fundamentalmente por los numerosos enlaces de hidrógeno entre diferentes regiones de las largas cadenas polinucleotídicas.



- Sin embargo, hay otras fuerzas que se oponen y **desestabilizan** la estructura, como las cargas negativas que se repelen entre los grupos fosfato próximos o la agitación térmica de las moléculas por efecto de la temperatura.





## Desnaturalización del ADN

- Cuando la temperatura (también cambios de pH o elevadas concentraciones salinas) alcanza un determinado valor (**punto de fusión** del ADN), la agitación térmica de las moléculas es capaz de separar las dos hebras (al romper los enlaces de hidrógeno) y producir la **desnaturalización** del ADN.

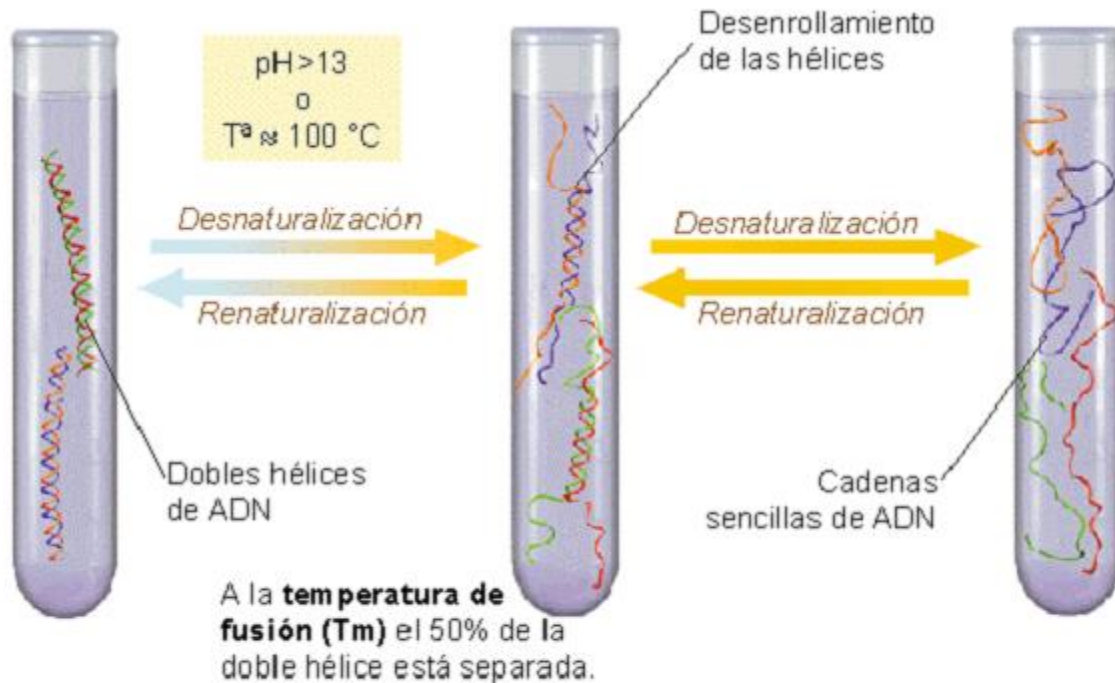


IMAGEN: Biología 2º Bachillerato Ed. SM

Manteniendo una temperatura de 65 °C durante un tiempo prolongado se puede producir la **renaturalización o hibridación** del ADN.

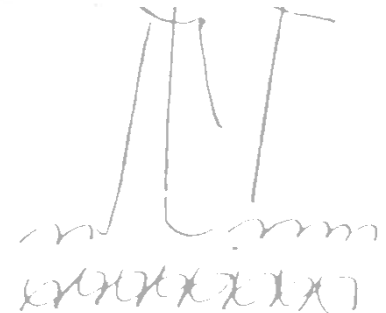
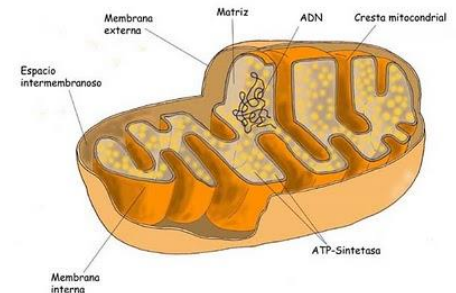
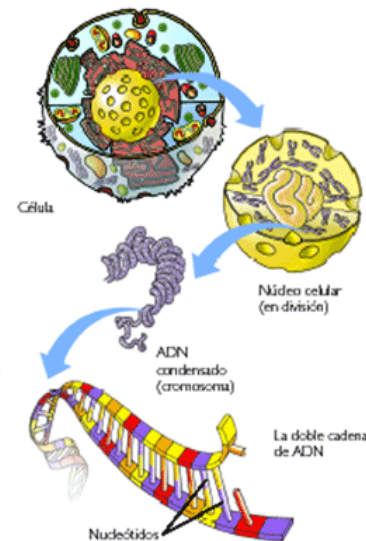
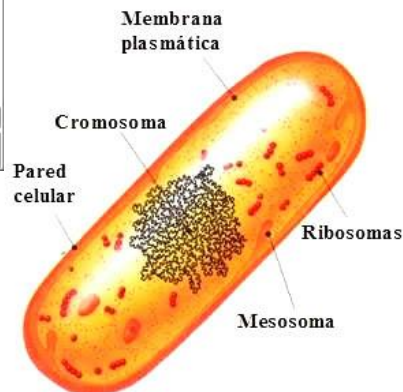
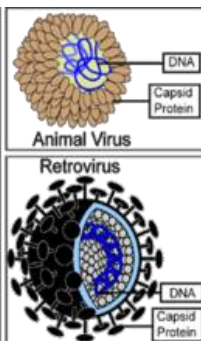
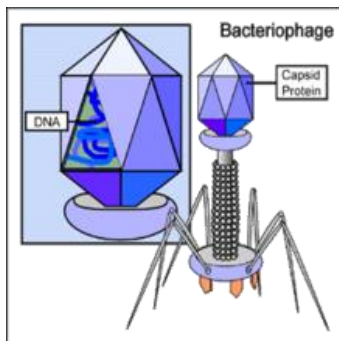
- Este fenómeno es **reversible** siempre que no haya sido drástico, es decir, si calentamos el ADN ligeramente por encima del punto de fusión y lo dejamos enfriar lentamente y en reposo, es capaz de recuperar su estructura secundaria inicial de doble hélice (**renaturalización**).





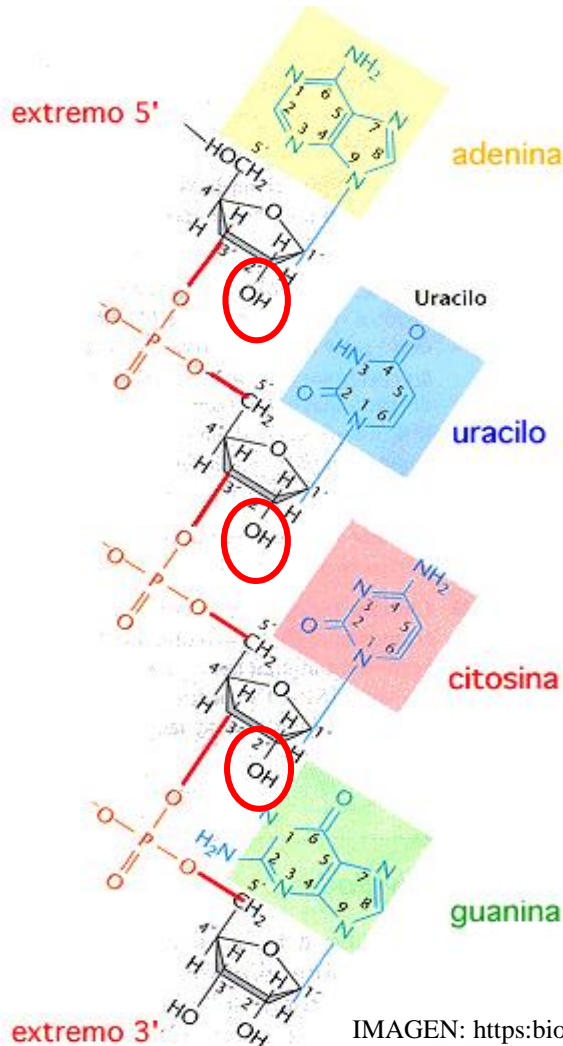
## Localización del ADN

- El ADN se encuentra en:
  1. El **interior de la cápsida de los virus** de ADN formando la nucleocápsida.
  2. La región del **nucleoide** del citoplasma de las **células procariotas**, formando el cromosoma de las mismas.
  3. En el citoplasma de algunas bacterias en forma de **plásmidos**.
  4. En el **núcleo, mitocondrias y cloroplastos** de las células eucariotas.





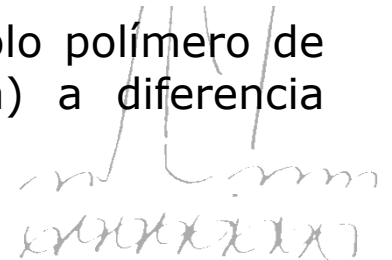
# Ácido ribonucleico (ARN)



- Está constituido por macromoléculas lineales formadas por la polimerización de **ribonucleótidos-5' monofosfato** de **adenina (A)**, **guanina (G)**, **citosa (C)** y **uracilo (U)**. No existen ribonucleótidos de timina en el ARN.

- Las características químicas que lo diferencian del ADN son:

1. Los nucleótidos del ARN poseen **ribosa** como pentosa, lo que hace que los grupos OH en posición 2' queden libres cuando se encadenan para formar el ARN. Esto origina tensiones en la estructura primaria que hace que el ARN sea químicamente menos estable que el ADN.
2. Está formado por un solo polímero de nucleótidos (monocadaena) a diferencia del ADN (bicatenario).







## Ácido ribonucleico (ARN)

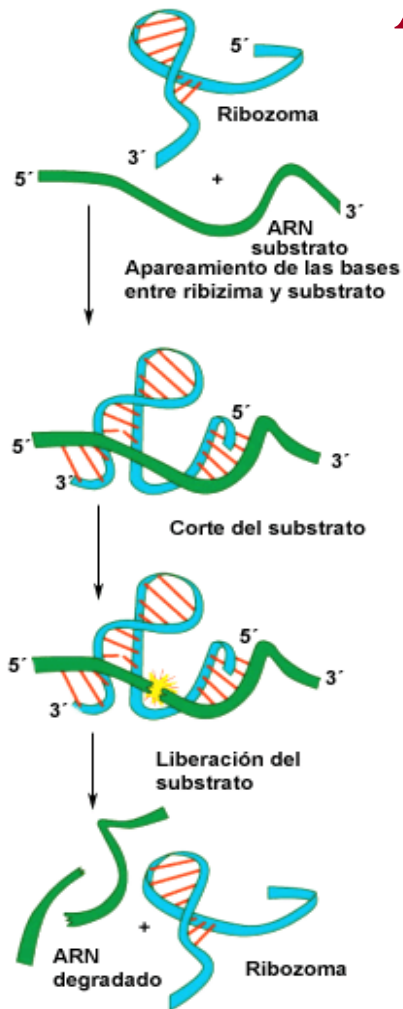


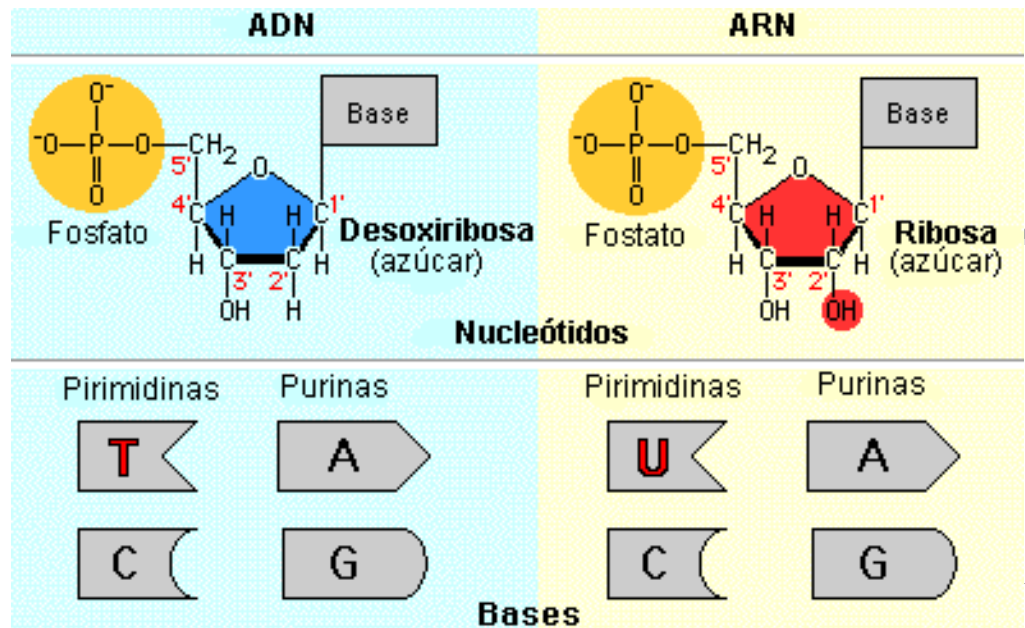
IMAGEN: Sophia.org

Figura 5

Mecanismo de acción de las ribozimas o  
ARN catalítico

3. Las bases A, G y C son compartidas por los dos ácidos nucleicos, sin embargo, se diferencian en la cuarta base (Timina en el ADN y **Uracilo** en el ARN).

4. Existen determinados tipos de ARN que manifiestan **actividad catalítica**, es decir, se comportan como enzimas. Se llaman **ribozimas** e intervienen en procesos relacionados con la hidrólisis o ruptura de las cadenas de ARN.





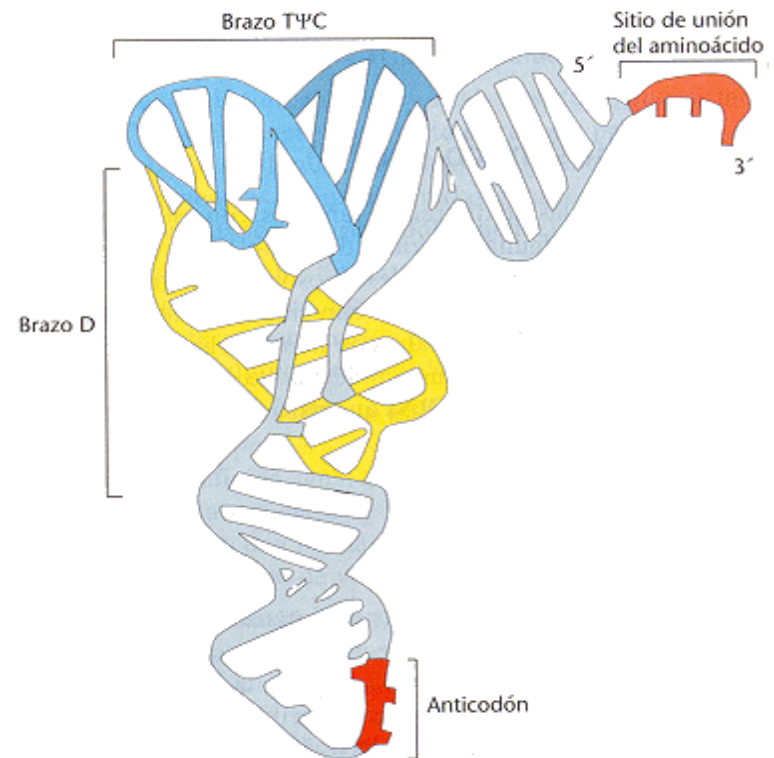
## Ácido ribonucleico (ARN)

5. Las moléculas de ARN suelen tener únicamente estructura **primaria**. Sólo en algunos casos forman estructuras **secundarias** (doble hélice) y **terciarias**.

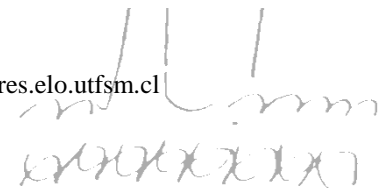
6. Excepto en los reovirus (que poseen moléculas de ARN bicatenario), el ARN es monocatenario, aunque en ciertos casos (ARNt) puede formar estructura de doble hélice.

En todos los tipos de ARN la **estructura primaria** es similar a la del ADN, es decir, queda definida por la secuencia de nucleótidos (de bases) de la cadena.

**Los tipos de ARN son mensajero** (ARNm), **transferente** (ARNt) y **ribosómico** (ARNr) principalmente.



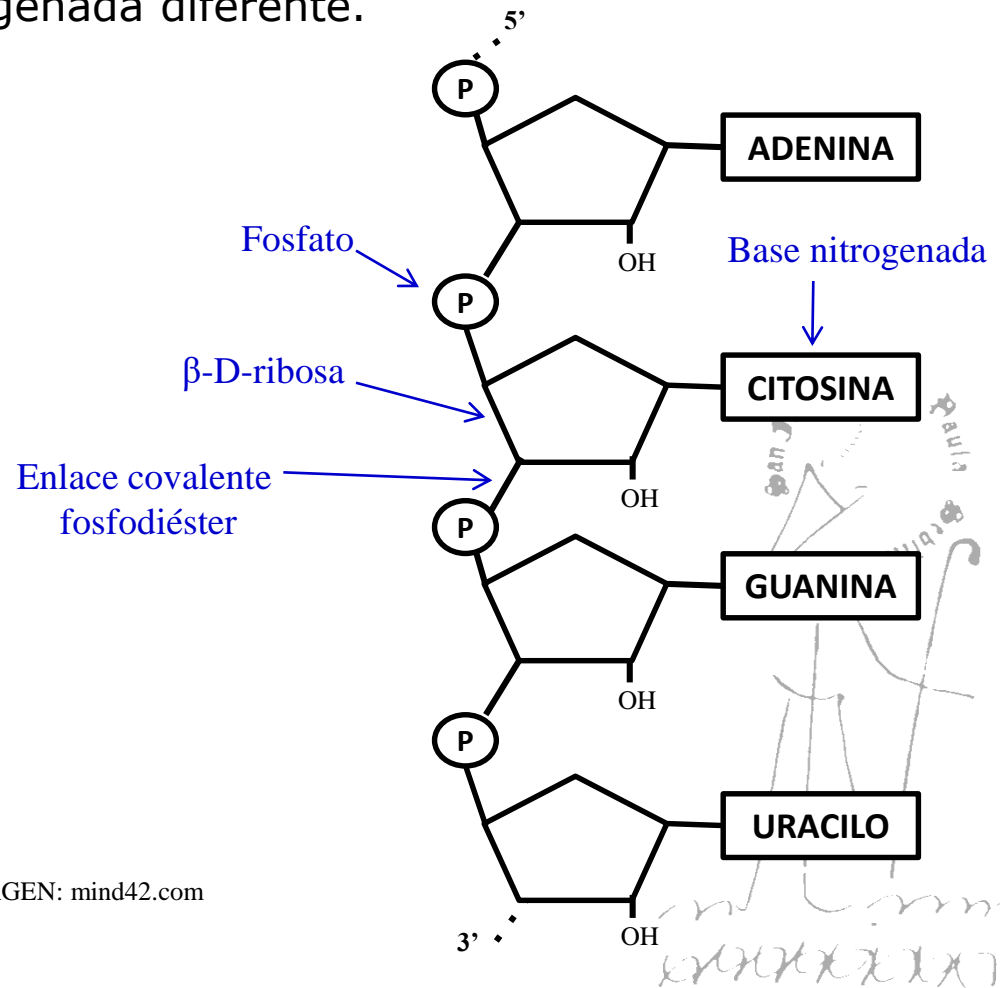
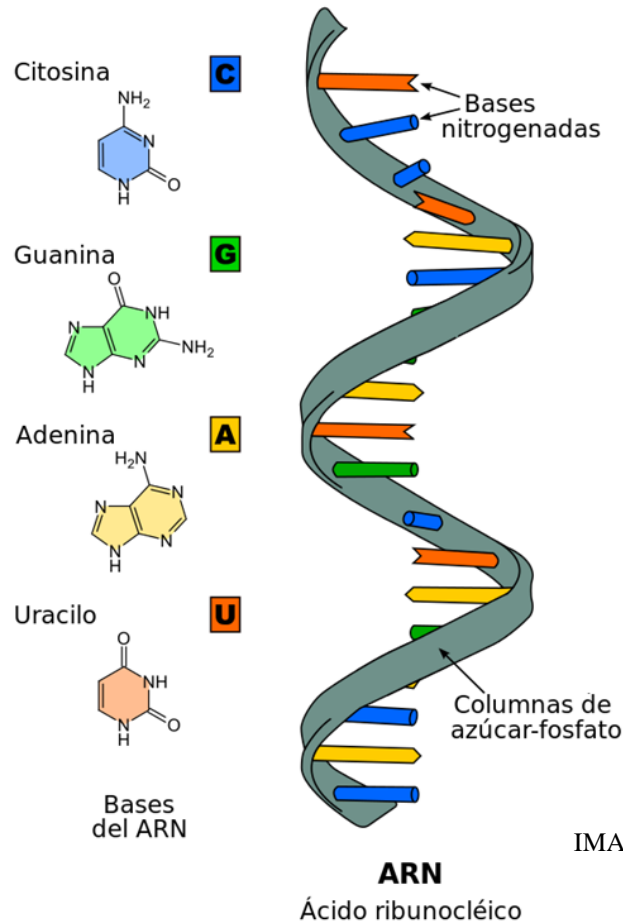
Estructura terciaria del ARNt.





## HABILIDAD: Diagrama estructura del ARN

- Dibuje un diagrama rotulado para mostrar **cuatro** nucleótidos de ARN, cada uno con una base nitrogenada diferente.





## Diferencias entre ADN y ARN

- El ADN difiere del ARN en el número de cadenas presentes, en la composición de las bases y en el tipo de pentosa.

<b>Video5</b>	<b>ADN</b>	<b>ARN</b>
<b>Composición</b>	Pentosa: Desoxirribosa Bases: A, T, G y C	Pentosa: Ribosa Bases: A, U, G y C
<b>Estructura</b>	Generalmente bicatenaria.	Monocatenaria.
<b>Localización</b>	Eucariotas: Núcleo, interior de mitocondrias y cloroplastos. Procariotas: Citoplasma.	Eucariota: Núcleo y citoplasma. Procariota: Citoplasma.
<b>Tipos</b>	ADN de copia única y ADN altamente repetitivo.	Varias formas funcionales: ARNm, ARNt y ARNr
<b>Función</b>	Portar la información genética.	Intervenir en la síntesis de proteínas.

*Handwritten signature and scribbles.*