

**ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA**

**DOCUMENTO N° 6**

# **COMO SE “DISEÑAN” LOS SERES VIVOS**

**Síntesis del trabajo**

**DISEÑO POR ERROR**

**de Enrique Cerdá Olmedo (1)**

**Profesor Emérito y fundador del Departamento de Genética**

**Universidad de Sevilla, España**

**Síntesis, notas aclaratorias y Anexo**

**Aristides Bryan Domínguez**

**Académico de Número**

**Junio de 2015 – Revisión 1 Junio de 2021**

**Buenos Aires**

**REPÚBLICA ARGENTINA**

# ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1.1 La información hereditaria</b>	1
<b>1.2 Obras de la bioingeniería</b>	1
<b>2. EL ERROR COMO MOTOR DE LA EVOLUCIÓN</b>	2
<b>4. LA “EVOLUCIÓN” DE LOS MECANISMOS DE LA EVOLUCIÓN</b>	4
<b>5. EL DISEÑO EVOLUTIVO (evolución somática)</b>	5
<b>ANEXO SIGNIFICADO DE ALGUNOS TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL TEXTO</b>	
<b>SER VIVO</b>	A1
<b>CÉLULA</b>	A1
<b>CROMOSOMAS</b>	A2
<b>GEN</b>	A2
<b>GENOMA</b>	A3
<b>PROTOPLASMA</b>	A3
<b>ESPORA</b>	A3
<b>SETAS</b>	A3
<b>PROTEÍNAS o PRÓTIDOS</b>	A4
<b>ENZIMAS</b>	A5
<b>POLIMERASA</b>	A6
<b>MONÓMEROS Y POLÍMEROS</b>	A6
<b>MELANINA</b>	A6
<b>CAROTENOIDES</b>	A6
<b>VITAMINAS</b>	A7
<b>FOTOLIASAS</b>	A9
<b>NUCLEÓTIDO</b>	A9
<b>ÁCIDOS NUCLEICOS</b>	A9
<b>ÁCIDO DEXORRIBONUCLEICO</b>	A11
<b>METABOLISMO</b>	A12

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1 La información hereditaria.

El inicio de cualquier ser vivo está en su *genoma* (2), o sea la “información hereditaria”.

Los genomas no pueden entenderse aislados; para poder hacer algo el genoma tiene que estar en una *célula* (2) y en un *entorno apropiado*.

El problema esencial de un ser vivo es “el diseño de su genoma”, que incluye los *genes* (2) necesarios para:

- Construir al ser vivo,
- Ejecutar todo género de acciones.

Algunas de estas acciones dan lugar a *productos externos* más o menos asociados al ser vivo que los crea. Muchos seres vivos producen *obras externas* a ellos mismos, que deben ser tenidas por “obras de ingeniería”, aunque no hayan sido creadas por el hombre.

Se plantea así el problema de *¿cómo diseñan obras de ingeniería seres vivos a los que no reconocemos la capacidad mental de anticipar el futuro?*, que es la característica de los diseños del hombre.

La *evolución biológica* diseña esas obras de la misma manera que diseña a los otros seres vivos que las producen: *por errores aleatorios seguidos de selección*.

### 1.2 Obras de la bioingeniería.

Los productos de los seres vivos *no son necesariamente* el resultado de un “*proceso de diseño*”, dando a este denominación contenidos de *designio* y *planificación* como el que realiza el hombre.

*No parecen ser resultado de un “diseño” muchos bioproductos, como el carbón, el petróleo y el gas* (que son meros productos intermedios en el reciclado de cadáveres) *y las rocas calcáreas* (que son restos modificados de las armaduras de otros seres vivos). *Estos grandes depósitos no tienen utilidad alguna para los seres vivos que los crearon en eras geológicas pasadas.*

*En cambio sí la tienen los arrecifes de coral* construidos durante centenares de millones de años por varios *antozoos marinos*, que son animales pequeños y de estructura sencilla. Estos arrecifes, cuyo volumen supera el conjunto de las obras humanas del planeta, no son meros acúmulos de materiales excretados, puesto que redundan en beneficio de las especies que las construyeron, proporcionándoles ecosistemas externos y favorables. *El “diseño” del organismo y el “diseño” de su producto se harían a través del mismo mecanismo de “diseño” de sus genes.*

Los *bosques* representan una situación aún más clara si tenemos en cuenta que un *árbol* es, en su mayor parte, una estructura muerta sobre la que vive el organismo que la va haciendo.

Muchos *hongos* son verdaderos “ingenieros de minas”. Partiendo del lugar de germinación de una *espora unicelular* (2), se extienden en forma más o menos radial por el suelo o por materia orgánica. El *protoplasma* (2) de estos hongos produce unos tubos de paredes gruesas en relación a su diámetro microscópico, y se traslada a lo largo de ellos. Estos tubos pueden ser vistos como el entibado de una galería de mina, pero tienen funciones mucho más complejas en la interacción entre la materia viva del hongo y su ambiente. Algunas veces estos tubos alcanzan distancias de muchos metros.

Cuando reciben las señales apropiadas, los tubos forman *setas* (2) y otras estructuras reproductivas que pueden ser muy vistosas y enormes en comparación con aquellos.

*Muchos seres vivos construyen estructuras claramente separadas de ellos*, como: *nidos, panales, galerías, presas y termiteros*. Al investigar estas estructuras se descubren optimizaciones impropias de la capacidad de cálculo que estamos dispuestos a reconocer en sus creadores. Esto es patente en el caso de los insectos. *En relación al tamaño de sus constructores, los termiteros son más grandes que los mayores rascacielos*.

- Una gran parte de la estructura de los termiteros parece servir sólo para acondicionar el ambiente interior (en cuanto a ventilación, temperatura y composición del aire).
- Otra parte contiene una instalación agroindustrial muy avanzada que explota hongos especialmente adaptados a la alimentación de las termitas.

Cabe suponer entonces que estas construcciones están programadas en los genomas de los insectos, genomas que aún no han sido descifrados.

*Ningún ser vivo tiene una conducta rígidamente determinada*. Todos (incluso los seres humanos) somos capaces de realizar *acciones alternativas* según sean las *circunstancias externas* del momento. *Para captar estas circunstancias externas* se requiere de una *capacidad sensorial* que puede ser más o menos compleja. Esta capacidad sensorial es:

- **relativamente sencilla**, como por ejemplo cuando la estructura de una *proteína* (2) o su *actividad enzimática* (2) depende de la temperatura, de la acidez o de la presencia en el medio de un compuesto determinado.
- **relativamente compleja y refinada**, por ejemplo en el hongo *Phycomyces*, que detecta el flujo luminoso que nos llega de una sola estrella en una noche oscura y se desorienta cuando recibe un flujo luminoso diez millones de veces superior. No menos admirable es su capacidad de integrar una *respuesta adaptativa* conveniente para difundir sus *esporas* (2) a señales contradictorias procedentes de media docena de detectores sensoriales distintos.

## 2. EL ERROR COMO MOTOR DE LA EVOLUCIÓN.

La *diversidad de los seres vivos* (incluso dentro de la misma especie), la *transmisión de rasgos* de unas generaciones a otras y la *eficacia de la selección de muchos rasgos deseables*, se conocían desde mucho antes de que Darwin formulara sus pensamientos en el siglo XIX. Su aplicación más o menos consciente dio lugar a la agricultura y a la ganadería y permitió el desarrollo cultural.

El *origen de la diversidad* sólo empezó a entenderse a principios del siglo XX, *cuando se averiguó que los caracteres que transmitían los seres vivos a sus descendientes podían sufrir cambios inesperados* llamados *mutaciones*. Estos cambios resultaron obvios a mediados del siglo XX, cuando se demostró que “todos los seres vivos contienen y transmiten a sus descendientes un texto escrito con un sencillo alfabeto de cuatro letras”: *los nucleótidos de los ácidos nucleicos* (2).

Sucede sin embargo que *ningún texto puede mantenerse absolutamente constante*.

- Por un lado, *es inevitable que sufra errores cuando se lo copia*.
- Por otro, *las radiaciones ultravioleta (uv) y otras energías aún mayores y muchos compuestos químicos* (naturales o artificiales) *alteran los ácidos nucleicos* y hacen que la información del texto sea *difícil o imposible de leer y ejecutar*.

Los errores son frecuentísimos en algunos *virus* como el de la *gripe*, cuya información está en forma de *ácido ribonucleico* (ARN), de copia tan imperfecta que *el texto copiado difiere de su modelo en aproximadamente una letra cada mil*.

*Todas las células*, desde las *bacterias* a las de los *seres humanos*, tienen su información genética en forma de *ácido desorribonucleico* (2) (ADN) *bicatenario*, que es “mucho más estable” que el *ácido ribonucleico* (ARN). De una generación a otra sufre *un error de cada millón a mil millones de letras de texto original*. La *tasa de error* es el resultado de varios sumandos.

- Por un lado están los *errores cometidos por las enzimas* (2) llamadas *polimerasas* (2) del ADN, que sintetizan las *copias*. Para bajar la tasa de error, muchas de estas polimerasas tienen acoplados *mecanismos de corrección de errores cometidos*.
- Por otro lado están los *errores cometidos al reparar los daños causados por agentes externos*, algunos de los cuales, como la radiación cósmica, son completamente inevitables, y otros como la radiación **uv** y muchos productos químicos más o menos frecuentes en la vida real. *Las reparaciones son en general más defectuosas que la copia normal*, sobre todo cuando los daños son graves y abundantes. Esto no debe extrañarnos, porque “nuestras obras nuevas suelen ser más perfectas que las reparadas”, sobre todo en caso de apuro grave.

*La redundancia de la información es muy útil para la estabilidad del texto*. Las dos cadenas del ADN bicatenario son complementarias: “dada la secuencia de nucleótidos de una de ellas queda definida la otra”.

Las mutaciones

- *son inevitables* porque “no hay copista perfecto ni restaurador que acierte siempre con el contenido original de un texto dañado”.
- *se heredan de padres a hijos y se acumulan con el tiempo, a menos que se eliminen por selección*. “La *selección* es más rápida cuanto más daño causen las mutaciones a la capacidad de sus portadores de producir prole variable”.

Mientras las mutaciones se mantienen, constituyen el *lastre genético* de la población, constituido por *el conjunto de defectos hereditarios* de los que “no se libra ninguna especie” y que en mayor o menor medida “afectan a todos los individuos”.

Algunas mutaciones pueden ser “desventajosas” en un momento y “ventajosas”, y aún “necesarias” en otro, según sea la circunstancia.

- Si la evolución de una especie seleccionara mecanismos de copia y reparación cada vez más perfectos, sus poblaciones serían genéticamente más sanas en el sentido de que tendrían menos lastre genético de individuos defectuosos.
- Al mismo tiempo dejarían de contener “variantes evolutivas” que podrían ser necesarias para asegurar la supervivencia de la especie a largo plazo.

*!!! La perfección es oportunista y a la larga letal !!!*

De lo anterior puede concluirse que:

- La fuente y el motor de la evolución es el error.
- El “diseño” de los seres vivos (de su conducta y sus obras externas) es consecuencia del error.
- Ningún ingeniero imita el procedimiento de “diseño biológico” consistente en *proyectar muchos artefactos sin pensar nada, construirlos todos y quedarse con el que resulta mejor*.

- Nuestra *evolución cultural* es mucho más rápida que la *evolución biológica* precisamente porque somos capaces de *crear modelos mentales* y *prever su comportamiento futuro, rechazando muchas variantes posibles de nuestros proyectos sin tener que construirlos y ensayarlos*. No obstante, nuestros modelos y nuestra capacidad de previsión tienen limitaciones y fallas; en cualquier rama de la ingeniería los diseñadores aprecian el papel que en su evolución han jugado los “diseños fracasados”.

### 3. LA “EVOLUCIÓN” DE LOS MECANISMOS DE EVOLUCIÓN.

- Los mecanismos de *copia* y *reparación* pueden variar de unos seres vivos a otros.
- Los nuestros se componen de más de **150 proteínas** (2) distintas, entre ellas al menos 15 polimerasas del **ADN** con distintos grados de fidelidad.
- Una bacteria relativamente sencilla como la *Escherichiacoli* tiene **3** polimerasas distintas.

Los genes que determinan la estructura de esas proteínas, “como todos los demás genes”, están sometidos a *evolución por error*.

La presencia de *variaciones* explica, por ejemplo, por qué tomar sol introduce más manchas en la piel en unos individuos que en otros.

Hay fuertes indicios que señalan que “las *tasas de mutación* han sido ajustadas por la evolución”.

*Las reparaciones más fiables* se darían en organismos expuestos habitualmente a agentes externos que dañan el **ADN**, como una intensa radiación **uv**. De esta manera “la eficacia de la reparación compensa el aumento de los daños”. En las bacterias que se multiplican con mayor rapidez los ajustes evolutivos se pueden observar directamente y llevan a la conclusión de que las tasas de mutación aumentan cuando las poblaciones se enfrentan durante un tiempo suficientemente prolongado a circunstancias externas hostiles.

“Las mutaciones son errores ciegos”. Consecuentemente, al aumentar la tasa de mutación aumentan por igual:

- *el lastre genético* constituido por las mutaciones indeseables.
- *la velocidad de adaptación evolutiva a nuevas circunstancias* (por mutaciones ventajosas en ellas).

**El lastre genético aumenta con el tamaño del genoma.** Si aceptamos la estimación de que *las sociedades humanas no podrían soportar una duplicación del lastre genético*, se puede sospechar que tampoco soportarían un aumento del número total de genes; en consecuencia:

- los genomas no pueden crecer indefinidamente.
- la evolución biológica no puede sobrepasar cierto límite de complejidad de los organismos.

Para esta consideración, “el tamaño efectivo del genoma no está determinado por el número total de sus nucleótidos sino por el de los que tienen funciones mantenidas por selección evolutiva”.

También importa la presencia de *genes repetidos, idénticos o muy parecidos* (que es frecuente en el ser humano), porque la función de un gen que se ha perdido por mutación puede ser cubierta por otro que se le parezca.

La presunta limitación del tamaño efectivo de los genomas no afecta el aumento de la complejidad por cooperación biológica entre organismos de la misma o de distintas especies; así

- Los animales y el hombre no necesitan de genes para la fotosíntesis;

- Las plantas dispersan sus semillas sin necesidad de motorizarlas.

Recientemente se ha comprobado que el mayor aumento de la complejidad de nuestro planeta se debe a la evolución cultural.

*“Cualquier biblioteca que se precie contiene más información que el genoma humano”*

#### 4. EL DISEÑO EVOLUTIVO (evolución somática).

Las *células somáticas* (2) de los animales, como las que forman nuestro cuerpo, no tienen posibilidad de originar nuevos organismos, están libres de la servidumbre de tener que sufrir mutaciones para favorecer la evolución. Cabría esperar entonces que sus equipos de *copia* y *reparación* sean perfectísimos, o por lo menos tan buenos como los mejores que se conocen. Sin embargo *esta esperanza no se confirma en la realidad*. Las tasas de mutación varían de unas células a otras y de unos genes a otros.

- Unas tasas altísimas de mutación (comparables a las del virus de la gripe) nos permiten obtener en unas “células especializadas”, muchísimas variantes de unos pocos genes responsables de la formación de *anticuerpos*.
- Al mismo tiempo se da una fuerte selección, porque *las células que producen los anticuerpos más útiles proliferan más que las otras*.

El resultado es que “nuestro mecanismo de defensa mejora muy deprisa” y en unos pocos días *se ajusta a nuevos enemigos*, como pueden ser patógenos, con los que antes no habíamos estado en contacto. Los mecanismos de la evolución no sólo funcionan durante la *proliferación de los organismos*, sino también durante la *proliferación de sus células* (las del propio organismo).

*La evolución de las células de un organismo no siempre es ventajosa.*

Los *tumores* son originados por *células mutantes* que se multiplican cuando no deben hacerlo e invaden otros lugares del cuerpo. Esto ocurre porque han sufrido mutaciones en los genes llamados *oncogenes*, cuya función normal es acomodar esas conductas a los intereses del organismo entero. Los *cánceres* son por tanto *enfermedades genéticas*, aunque pocas veces sean hereditarias. En muchos tumores se generan catástrofes genéticas que se originan porque algunas de las mutaciones acumuladas afectan a *oncogenes*.

Una mutación que haga in fiable los *equipos de replicación y reparación de una célula* puede dar lugar a tasas de mutación muy altas (en ella y sus descendientes) dentro del organismo, con acumulación de muchos millares de cambios en la información genética.

*Los mamíferos tenemos muchos genes para replicación y reparación*, no obstante sufrimos de carencias llamativas, por ejemplo:

*!!! carecemos de fotoliasas, que están presentes en casi todos los seres vivos !!!*

*Las fotoliasas reparan muy eficazmente los daños producidos por la radiación uv*. Para ello reconocen los cambios químicos más frecuentes en **ADN** expuesto a la radiación y los corrigen usando directamente como fuente de energía la luz del sol. Este es un diseño admirable porque

- en la naturaleza ambas radiaciones, *uv* y *luz del sol*, van siempre juntas,
- la reparación no consume energía metabólica, que puede ser muy escasa en las células en el momento del daño.

***Carecer de fotoliasas*** no afecta a nuestras ***células reproductoras***, que están bien protegidas de la radiación ***uv***, pero ***nos expone al cáncer de piel***.

No es extraño que los primates, habitantes de regiones cálidas y luminosas, estén revestidos por capas renovables de piel y pelo cargadas de ***melanina*** (2), que es un excelente filtro ***anti uv***.

Cuando el hombre colonizó las latitudes altas, más oscuras, los mutantes ***melanoinsuficientes*** (los blancos) tuvieron ventaja, resultando favorecidos. Se piensa que la ventaja es ***la síntesis de la vitamina D*** (2), que puede ser ***insuficiente en la dieta***, pero ***la podemos sintetizar nosotros mismos con ayuda de la energía solar***.

***La calidad de los mecanismos de replicación y reparación de los tejidos somáticos*** no es la que convendría a nuestra salud; además empeora con la edad y es muy imperfecta en la vejez. Quizá esto sea consecuencia de ***un diseño evolutivo que limita la vida de los individuos*** para renovar poblaciones y dejar vía libre a la evolución biológica.

***La longevidad es un rasgo evolutivo lábil***, como se ve en la extrema variación en algunos grupos de organismos, como los mamíferos. ***Se ignoran las razones de esta labilidad, pero se sospecha que está determinada por los niveles de oxidación***. Esta sospecha se fundamenta en que se encuentra una correlación entre la longevidad de los mamíferos y la concentración en su sangre de ***carotenoides*** (2), unos antioxidantes naturales que no producimos, pero adquirimos en la dieta.

Cabe esperar que en el futuro nuestro conocimiento de la biología y nuestra capacidad de manipular la información genética nos permita ***escapar a la evolución por error y selección***. Disminuiríamos así el lastre genético causado por mutaciones (heredadas y somáticas) y estaríamos alerta para ***introducir artificialmente*** los cambios convenientes conforme se hicieran necesarios. “Pero aquí ingresamos al campo de la ***bioética***” (observación del autor de esta Síntesis).

(1) **Enrique Cerdá Olmedo** (Guadix, 1942) es un genetista español, licenciado en ciencias biológicas por la Universidad Complutense de Madrid, ingeniero agrónomo y doctor ingeniero agrónomo por la actual Universidad Politécnica de Madrid y Ph. D. en Biología por Stanford University. Formado en los laboratorios de Enrique Sánchez-Monge, Philip C. Hanawalt y Max Delbrück, entre otros. Ha sido colaborador de investigación e investigador visitante en el California Institute of Technology y becario Humboldt en Universität Göttingen. Fundó en 1969 el Departamento de Genética de la Universidad de Sevilla, en el que es catedrático desde 1972. Es director de cursos en Cold Spring Harbor Laboratory (Estados Unidos) y otros centros de cinco países. Ha investigado aspectos fundamentales y aplicados de la biología de bacterias y hongos, en especial la inducción de mutaciones, los mecanismos genéticos de los ciclos sexual y asexual, las respuestas a estímulos externos, particularmente a la luz, y el metabolismo secundario, particularmente la producción de caroteno. Sin contar los trabajos de divulgación, ha publicado 115 monografías científicas, obtenido dos patentes en Estados Unidos y una patente mundial. También ha dirigido una película científica (doblada a tres idiomas) y tres libros. Fue elegido miembro de la Organización Europea de Biología Molecular, la Academia de Ingeniería de España y la Real Academia Sevillana de Ciencias.

(2) Ver significado en el Anexo.

# **ANEXO**

## **SIGNIFICADO DE ALGUNOS TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL TEXTO**

**Información y figuras extraídas de diversas fuentes de Internet**

**por**

**Arístides Bryan Domínguez**

## SER VIVO

Ser orgánico que vive, siente y se mueve por propio impulso. Ser irracional por oposición a los humanos. La inteligencia es lo que diferencia al hombre de los animales. Parte instintiva de un ser viviente, frente a la racional o espiritual, o relativo a ella.

## CÉLULA

Es la unidad anatómica y funcional de todo ser vivo. Tiene función de **autoconservación** y **auto reproducción**. Esto es por lo que se la considera como la mínima expresión de vida de todo ser vivo. En 1665, Robert Hooke observó con un microscopio un delgado corte de corcho. Hooke notó que el material era poroso. A esos poros, los llamó células. Hooke había observado células muertas. Unos años más tarde, Marcelo Malpighi, anatomista y biólogo italiano, observó células vivas. Fue el primero en estudiar tejidos vivos al microscopio. El tamaño normal de una célula puede variar entre 5 y 50 micras (una micra es una millonésima parte de un metro).

### Clasificación de las células

- **Células procariotas:** No poseen un núcleo celular delimitado por una membrana. Los organismos procariotes **son las células más simples que se conocen**. En este grupo se incluyen las **algas azul-verdosas** y las **bacterias**.
- **Células eucariotas:** Poseen un núcleo celular delimitado por una membrana. Estas células forman parte de los tejidos de organismos multicelulares como nosotros, los humanos. Poseen múltiples orgánulos. Es característica de las plantas.

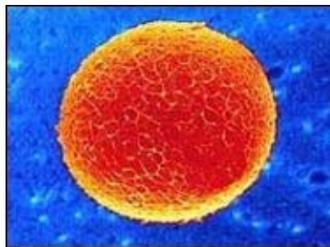
Desde el punto de vista de su **procedencia** también se pueden clasificar en **célula animal** y **célula vegetal**, pero estos dos tipos de células son siempre **eucariotas**.

- **Célula vegetal:** La célula vegetal tiene una pared celular de celulosa, que hace que tenga rigidez. Además estas células tienen los **cloroplastos** con clorofila. Gracias a ellos realizan la **fotosíntesis** y por eso son **autótrofos** o sea capaces de realizar su propio alimento.
- **Célula animal:** Las células animales no tienen una pared celular exterior. Son **heterótrofas** porque son incapaces de sintetizar su propio alimento; incorporan los nutrientes de los alimentos que poseen otros seres vivos, ya que **no poseen cloroplastos con clorofila para la fotosíntesis**. Además presentan **lisosomas funcionales** para la digestión intra y extracelular (**endocitosis** y **exocitosis**).

Las células también se clasifican en "**corporales o somáticas**" y "**germinales o reproductoras o sexuales**".

- **Células corporales o somáticas:** Son aquellas que conforman el crecimiento de los tejidos y órganos de un ser vivo pluricelular. Proceden de células madre originadas durante el desarrollo embrionario y que sufren un proceso de **proliferación celular** y "**apoptosis**". **Son las que constituyen la mayoría de las células del cuerpo de un organismo pluricelular. Las células somáticas son todas genéticamente iguales**, con una dotación genética cuya mitad procede de la madre y la otra mitad del padre, unidas en la fecundación, a pesar de que las distintas células de un organismo son muy diferentes, al expresar **genes** diferentes, como por ejemplo **una neurona** y **una célula intestinal**.
- **Células germinales o reproductoras:** Son las encargadas de realizar la función de reproducción. De ellas se forman los **gametos**, que son células reproductoras especializadas en transportar la información hereditaria de los progenitores para formar **la primera célula de un nuevo individuo: "la célula huevo" o "zigoto"**. **Los gametos femeninos son los óvulos, y los masculinos son los espermatozoides**.

**Apoptosis:** Destrucción o muerte celular programada provocada por ella misma, con el fin de autocontrolar su desarrollo y crecimiento, está desencadenada por señales celulares controladas genéticamente. La apoptosis tiene una función muy importante en los organismos, pues hace posible la destrucción de las células dañadas, evitando la aparición de enfermedades como el cáncer, consecuencia de una replicación indiscriminada de una célula dañada. En contraste con la necrosis- que en realidad no es una forma de muerte celular, sino que ocurre después de la muerte- resultante de un daño agudo a los tejidos, la apoptosis es un proceso ordenado, que generalmente confiere ventajas al conjunto del organismo durante su ciclo normal de vida. Por ejemplo, la diferenciación de los dedos humanos durante el desarrollo embrionario requiere que las células de las membranas intermedias inicien un proceso apoptótico para que los dedos puedan separarse.



### ÓVULO

Los **óvulos** tienen forma redonda, son grandes y no tienen la capacidad de moverse. A partir de la pubertad, cada mes, madura un óvulo.



### ESPERMATOZOIDE

Los **espermatozoides** son pequeños, tienen una cabeza y una larga cola o flagelo que les permiten moverse. Después de la pubertad se producen continuamente.

**Cada célula germinal es diferente genéticamente por la recombinación genética durante la "meiosis". Se estima que uno de cada 80 millones de espermatozoides posee más de un 95 % de similitud genética con otro.**

**Clonación:** Teórica y técnicamente se puede obtener un individuo genéticamente idéntico a otro a partir de una célula somática.

**Meiosis:** Es una de las formas de la reproducción celular. Este proceso se realiza en las glándulas sexuales para la producción de gametos. Es un proceso de división celular en el cual una célula diploide ( $2n$ ) experimenta dos divisiones sucesivas, con la capacidad de generar cuatro células haploides ( $n$ ). En los organismos con reproducción sexual tiene importancia ya que es el mecanismo por el que se producen los óvulos y espermatozoides (gametos). Este proceso se lleva a cabo en dos divisiones nucleares y citoplasmáticas, llamadas primera y segunda división meiótica o simplemente **meiosis I** y **meiosis II**. Ambas comprenden profase, metafase, anafase y telofase. Durante la meiosis I miembros de cada par homólogo de cromosomas se emparejan durante la profase, formando bivalentes. Durante esta fase se forma una estructura proteica denominada complejo sinaptonémico, permitiendo que se produzca la recombinación entre ambos cromosomas homólogos. Posteriormente se produce una gran condensación cromosómica y los bivalentes se sitúan en la placa ecuatorial durante la primera metafase, dando lugar a la migración de  $n$  cromosomas a cada uno de los polos durante la primera anafase. Esta división reduccional es la responsable del mantenimiento del número cromosómico característico de cada especie. En la meiosis II, las cromátidas hermanas que forman cada cromosoma se separan y se distribuyen entre los núcleos de las células hijas. Entre estas dos etapas sucesivas no existe la etapa S (replicación del ADN). La maduración de las células hijas dará lugar a los gametos.

## CROMOSOMAS

En **citología**, **cromosoma** es una **diminuta estructura filiforme** que se encuentra en el **núcleo de las células**. Los **cromosomas están** formados por **ácidos nucleicos** y **proteínas** que está **“presente en todas las células vegetales y animales”**. Los cromosomas transportan fragmentos largos de **ADN** (ácido dextrorribonucleico).

- El **ADN** es el pilar fundamental del cuerpo humano. Se divide en pequeñas unidades llamadas **genes** que determinan las características hereditarias de la célula u organismo.
- Las **proteínas** ayudan al **ADN** a existir en la forma apropiada.

**Las células de los individuos de una especie determinada suelen tener un número fijo de cromosomas. En las plantas y animales superiores los cromosomas se presentan por pares.**

En general **“las células somáticas”** son células con **dotación genética completa**, siendo **diploides** que **pueden formar nuevo tejido** mediante el proceso de **división celular**. Son **diploides** porque tienen **2 series de cromosomas ( $2n$ )**, siendo  $n$  el número de **tipos de cromosomas**.

En el ser humano, normalmente cada **“célula somática”** tiene **23 pares de cromosomas o sea 23 tipos ( $n$ ) de cromosomas  $2n = 46$**  cromosomas en total, numerados de **1 a 22**, más el tipo gonadal **X o Y**, de los cuales la mitad proviene de la madre y la otra mitad del padre. Dos de los cromosomas, el **X** y el **Y**, determinan el **sexo** de un ser humano y se denominan **cromosomas sexuales o gonosomas**.

- Las **mujeres** tienen **2 cromosomas X**.
- Los **hombres** tienen **1 cromosoma X y 1 cromosoma Y**.

La madre le aporta un cromosoma **X** al hijo, mientras que el padre puede contribuir con un cromosoma **X** o con un cromosoma **Y**. El cromosoma del padre es el que determina si el bebé es un niño o una niña. Los cromosomas restantes se denominan **autosómicos** y se conocen como pares numerados del **1 al 22**.

Los cromosomas se duplican al comienzo de la **división celular** y, una vez completada, recuperan el estado original. La **“mitosis”** asegura que cuando una célula somática se divide en dos células hijas, cada célula sigue siendo  **$2n$** , o sea que siga teniendo los **46 cromosomas propios de la especie humana**.

**Mitosis:** Proceso que ocurre en el núcleo de las células eucariotas y que precede inmediatamente a la división celular, consistente en el reparto equitativo del material hereditario (**ADN**) característico. Este tipo de división ocurre en las células somáticas y normalmente concluye con la formación de dos núcleos separados (**caricinesis**), seguido de la separación del citoplasma (**citocinesis**), para formar dos células hijas. La mitosis completa, que produce células genéticamente idénticas, es el fundamento del crecimiento, de la reparación tisular y de la reproducción asexual. La otra forma de división del material genético de un núcleo se denomina meiosis y es un proceso que, aunque comparte mecanismos con la mitosis, no debe confundirse con ella ya que es propio de la división celular de los gametos. Produce células genéticamente distintas y, combinada con la fecundación, es el fundamento de la reproducción sexual y la variabilidad genética.

En el ser humano **“las células reproductoras o gametos”** tienen por lo general la **mitad de los cromosomas presentes en las somáticas**. Durante la fecundación, el **espermatozoide** y el **óvulo** se unen y reconstruyen en el nuevo organismo la disposición por pares de los cromosomas; la mitad de estos cromosomas procede de un parental, y la otra mitad del otro.

**Los cromosomas son los portadores de la mayor parte del material genético y condicionan la organización de la vida y las características hereditarias de cada especie.**

### Propiedades

- Todos los individuos de una misma especie tienen el mismo número de cromosomas.
- Los cromosomas se duplican durante la división celular y, una vez completada, recuperan el estado original.
- Los cromosomas de una célula difieren en tamaño y forma, y de cada tipo se encuentran dos ejemplares, de modo que el número de cromosomas es  **$2n$**  (esta propiedad se denomina **diploidía**).
- Durante la formación de células sexuales (**“meiosis”**) el número de cromosomas baja a  **$n$** . La fertilización del óvulo por el espermatozoide, restaura el número de cromosomas a  **$2n$** , de los cuales  **$n$**  proceden del padre y  **$n$**  de la madre.
- Además de los cromosomas usuales que forman parejas, existen los cromosomas **X** e **Y** que condicionan el sexo. El cromosoma **X** está presente en dos copias en las hembras, mientras que los varones tienen un cromosoma **X** y un cromosoma **Y**. La asignación del sexo a un solo par de cromosomas explica la proporción aproximadamente igual de varones y hembras.

## GEN

**Unidad del material genético hereditario** que se corresponde con un segmento determinado de **ADN (Ácido**

**Dexorribonucleico**). En los organismos **eucariotas** se localiza en los cromosomas: la información contenida en los genes de una célula se manifiesta a través de las proteínas que la codifican.

## GENOMA

Conjunto de **genes** contenidos en los **cromosomas**, lo que puede interpretarse como la totalidad de la información genética que posee un organismo o una especie en particular.

## PROTOPLASMA

Es el **material vivo de la célula**, es decir, todo el interior de la célula (también el **núcleo** y el **citoplasma**). Está formado por los elementos y sustancias químicas que se encuentran en la naturaleza, formando los cuerpos o estructuras no vivientes. En estado coloidal el protoplasma está formado por las siguientes sustancias:

- **Agua:** 75 a 80% del protoplasma, de funciones estructural, transportadora, termorregulador, disolvente, lubricante.
- **Sales o electrolitos:** de funciones estructurales y reguladoras de pH (nivel de acidez): K (potasio), Mg (magnesio), P (fósforo), S (azufre), Na (sodio), Cl (cloro).
- **Proteínas:** 10 a 15% del protoplasma, son moléculas orgánicas de diferentes tamaños formadas por aminoácidos, su composición química es de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, lo que nos da una cadena de aminoácidos. Sus funciones son estructurales (uñas, cabello); hormonal (hormonas, por ejemplo insulina).
- **Enzimas:** compuestos de proteínas que aumentan la velocidad de una reacción química (catalizador biológico); y de Transporte (transporte de oxígeno).
- **Carbohidratos:** que son la fuente de combustible de las células y son moléculas que se componen de carbono, hidrógeno y oxígeno. Sus funciones son almacenar energía para la célula (como fuente primaria) y constituir las paredes celulares.
- **Lípidos:** grasa neutra, fosfolípidos, colesterol, que son sustancias insolubles en agua pero solubles en solventes orgánicos. Su composición química también es de carbono, hidrógeno y oxígeno. Sirven como reserva de energía, de aislante térmico y para formar la membrana celular que le da protección a los órganos y estructuras celulares.

El **protoplasma** se caracteriza por poseer abundantes propiedades fisiológicas que señalan las funciones de las células:

1. **Conductividad** es la generación de una onda de excitación (impulso eléctrico) a toda la célula a partir del punto de estimulación. Esta y la irritabilidad son las propiedades más importantes de las neuronas.
2. **Contractilidad** es la capacidad de una célula de cambiar de forma, generalmente por acortamiento. Esta muy desarrollada en las células musculares.
3. **Respiración**, esencial para la vida, es el proceso mediante el cual las células producen energía al utilizar las sustancias alimenticias y el oxígeno absorbido para producir energía, dióxido de carbono, y agua.
4. **Absorción** es la capacidad de las células para captar sustancias del medio.
5. **Secreción** es el proceso por medio del cual la célula expulsa materiales útiles como una enzima digestiva o una hormona.
6. **Excreción** es la eliminación de los productos de desecho del metabolismo celular.
7. **Crecimiento** es el aumento de tamaño de una célula producido por un incremento en la cantidad de protoplasma o en el número de células.

## ESPORA (El término deriva del griego *sporá*, "semilla")

En biología designa un cuerpo microscópico unicelular o pluricelular que se forma con fines de dispersión y supervivencia por largo tiempo ("**dormancia**") en condiciones adversas, y que generalmente es una célula haploide.

En muchos seres eucariotas es parte fundamental de su reproducción, originándose un nuevo organismo al dividirse por mitosis (especialmente en hongos) o meiosis (plantas) sin tener que fusionarse con otra célula; mientras que en algunas bacterias se trata en cambio de una etapa inactiva, resistente a la desecación y con fines de supervivencia no reproductivos.

**La espora** es un elemento importante en los ciclos vitales biológicos de plantas, hongos, algas y algunos protozoos, los cuales suelen producir las esporas en estructuras denominadas esporangios. En las plantas, las esporas son los gametofitos dentro de su ciclo de vida y permiten al mismo tiempo la dispersión de los propágulos. La mayoría de los hongos producen esporas; aquellos que no lo hacen se denominan hongos *asporógenos*.

Las esporas se pueden clasificar según su función, estructura, origen del ciclo vital o por su movilidad:

- **Por su función:** Las diásporas son unidades de dispersión de los hongos, musgos y algunas otras plantas. En hongos, las clamidosporas son esporas multicelulares de pared gruesa resultado de reproducción asexual y las zigosporas son la parte sexual pues se dividen por meiosis cuando logra condiciones para germinar. Los hipozigotos de los hongos zigomicetos son producidos por vía sexual y pueden dar lugar a una conidiospora ("zygosporangium") asexual.
- **Por su origen durante el ciclo biológico:** Una meiospora es el producto de la meiosis (la etapa citogenética crítica de la reproducción sexual), lo que significa que es haploide y que dará lugar a una célula o individuo haploide. Esto es característico en los ciclos vitales de plantas y algas. Una mitospora se produce por un mecanismo de esporulación y se propaga por un medio asexual como resultado de la mitosis. La mayoría de los hongos producen mitoesporas.  
**Por la movilidad:** La movilidad es la capacidad de moverse autónoma y espontáneamente. Las esporas se dividen según puedan moverse o no. La zoospora puede moverse por medio de uno o más flagelos y se pueden encontrar en algunas algas y hongos. En tanto la autoespora no puede moverse y no tiene el potencial de desarrollar ningún flagelo. Las balistosporas se descargan activamente del cuerpo fructífero (tal como la seta). La estatismospora no se descarga activamente del cuerpo fructífero.

## SETAS

Son los **esporocarpos** o **cuerpos fructíferos** de un conjunto de **hongos pluricelulares** (basidiomicetos) que incluye muchas especies. Suelen crecer en la humedad que proporciona la sombra de los árboles, pero también en cualquier ambiente húmedo y con poca luz. **Unas especies son comestibles y otras son venenosas, e incluso existen varias con efectos psicoactivos.**

**Son ejemplos de setas comestibles:** el champiñón, el gurumelo, el níscolo, el gallipierno, la oronja o shiitake (*Lentinula edodes*).

**El sombrero o sombrerillo** (píleo) de las setas puede adoptar varias formas, incluso en la misma especie puede variar a lo largo del tiempo. Algunos son lisos, pero otros pueden estar cubiertos de escamas, pelillos, verrugas. Puede ser brillante o mate, seco o húmedo al tacto.

**El borde del sombrero** también puede proporcionar datos útiles a la hora de identificarlas, puede ser estriado, acanalado, liso, enrollado.

**En la parte inferior del sombrero** es donde se producen las esporas. Puede estar formado por láminas, tubos o dientes:

**El pedicelo** pie que sustenta el píleo se llama **estipe**. La forma en que el sombrero se une al tronco también es muy importante para su identificación.

**La volva** es la parte con forma de taza en la base del estipe.

## **PROTEÍNAS o PRÓTIDOS** (del francés *protéine*, y este del griego *proteios*, 'prominente', 'de primera calidad')

Son moléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.

Por sus propiedades físico-químicas, las proteínas se pueden clasificar en proteínas simples (holoproteidos), formadas solo por aminoácidos o sus derivados; proteínas conjugadas (heteroproteidos), formadas por aminoácidos acompañados de sustancias diversas, y proteínas derivadas, sustancias formadas por desnaturalización y desdoblamiento de las anteriores.

Las proteínas son necesarias para la vida, sobre todo por su función plástica (constituyen el 80 % del protoplasma deshidratado de toda célula), pero también por sus funciones biorreguladoras (forman parte de las enzimas) y de defensa (los anticuerpos son proteínas).

Las proteínas desempeñan un papel fundamental para la vida y son las biomoléculas más versátiles y diversas. Son imprescindibles para el crecimiento del organismo y **realizan una enorme cantidad de funciones diferentes**, entre las que destacan:

- **Estructural.** Esta es la función más importante de una proteína (Ej: colágeno)
- **Inmunológica** (anticuerpos)
- **Enzimática** (Ej: sacarasa y pepsina)
- **Contráctil** (actina y miosina)
- **Homeostática:** colaboran en el mantenimiento del pH (ya que actúan como un tampón químico)
- **Transducción de señales** (Ej: rodopsina)
- **Protectora o defensiva** (Ej: trombina y fibrinógeno)
- **Producción de costras** (Ej: fibrina).
- **Funciones de reserva** (como la ovoalbúmina en el huevo, o la caseína de la leche).

Las proteínas de todos los seres vivos están determinadas mayoritariamente por su genética (con excepción de algunos péptidos antimicrobianos de síntesis no ribosomal), es decir, la información genética determina en gran medida qué proteínas tiene una célula, un tejido y un organismo.

Las proteínas se sintetizan dependiendo de cómo se encuentren regulados los genes que las codifican. Por lo tanto, son susceptibles a señales o factores externos. El conjunto de las proteínas expresadas en una circunstancia determinada es denominado proteoma.

**Los prótidos o proteínas** son biopolímeros, están formadas por un gran número de unidades estructurales simples repetitivas (monómeros) denominado aminoácidos, unidas por enlaces peptídicos. Debido a su gran tamaño, cuando estas moléculas se dispersan en un disolvente adecuado, forman siempre dispersiones coloidales, con características que las diferencian de las disoluciones de moléculas más pequeñas. Muchas proteínas presentan carga neta en ciertos rangos de pH del medio. Por ello pueden considerarse ionómeros.

Por hidrólisis, las moléculas de proteína se dividen en numerosos compuestos relativamente simples, de masa molecular pequeña, que son las unidades fundamentales constituyentes de la macromolécula. Estas unidades son los aminoácidos, de los cuales existen veinte especies diferentes y que se unen entre sí mediante enlaces peptídicos. Cientos y miles de estos aminoácidos pueden participar en la formación de la gran molécula polimérica de una proteína.

Todas las proteínas tienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, y casi todas poseen también azufre. Si bien hay ligeras variaciones en diferentes proteínas, el contenido de nitrógeno representa, por término medio, 16 % de la masa total de la molécula; es decir, cada 6,25 g de proteína contienen 1 g de N. El factor 6,25 se utiliza para estimar la cantidad de proteína existente en una muestra a partir de la medición de N de la misma.

La síntesis proteica es un proceso complejo cumplido por las células según las directrices de la información suministrada por los genes.

Las proteínas son largas cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos entre el grupo carboxilo (-COOH) y el grupo amino (-NH<sub>2</sub>) de residuos de aminoácido adyacentes. La secuencia de aminoácidos en una proteína está codificada en su gen (una porción de **ADN**) mediante el código genético. Aunque este código genético especifica los 20 aminoácidos "estándar" más la selenocisteína y —en ciertos Archaea— la pirrolisina, los residuos en una proteína sufren a veces modificaciones químicas en la modificación postraduccional: antes de que la proteína sea funcional en la célula, o como parte de mecanismos de control. Las proteínas también pueden trabajar juntas para cumplir una función particular, a menudo asociándose para formar complejos proteicos estables.

Las proteínas se ensamblan a partir de sus aminoácidos utilizando la información codificada en los genes. Cada proteína tiene su propia secuencia de aminoácidos que está especificada por la secuencia de nucleótidos del gen que la codifica. El código genético está formado por un conjunto de tri-nucleótidos denominados **codones**. Cada codón (combinación de tres nucleótidos) designa un aminoácido, por ejemplo **AUG** (adenina-uracilo-guanina) es el código para la metionina. Como el **ADN** contiene cuatro nucleótidos distintos, el número total de codones posibles es 64; por lo tanto, existe cierta redundancia en el código genético, estando algunos aminoácidos codificados por más de un codón. Los genes codificados en el **ADN** se transcriben primero en **ARN pre-mensajero** mediante proteínas como la ARN polimerasa. La mayor parte de los organismos procesan entonces este pre-ARNm (también conocido como transcrito primario) utilizando varias formas de modificación post-transcripcional para formar **ARNm** maduros, que se utilizan como molde para la síntesis de proteínas en el ribosoma.

**En los procariontes** el **ARNm** puede utilizarse tan pronto como se produce, o puede unirse al ribosoma después de haberse alejado del nucleóide.

**Los eucariotes** sintetizan el **ARNm** en el núcleo celular y lo translocan a través de la membrana nuclear hasta el citoplasma donde se realiza la síntesis proteica.

**La tasa de síntesis proteica** es mayor en procariontes que en eucariotes y puede alcanzar los 20 aminoácidos por segundo.

El proceso de sintetizar una proteína a partir de un molde de **ARNm** se denomina traducción. El **ARNm** se carga en el ribosoma y se lee, tres nucleótidos cada vez, emparejando cada codón con su anticodón complementario localizado en una molécula de ARN de transferencia que lleva el aminoácido correspondiente al codón que reconoce. La enzima aminoacil **ARNt sintetasa** "carga" las moléculas de **ARN** de transferencia (**ARNt**) con los aminoácidos correctos. El polipéptido creciente se denomina cadena nascente. Las proteínas se biosintetizan siempre del extremo **N-terminal** al extremo **C-terminal**.

De esta forma, se consigue la estructura primaria de la proteína, es decir, su secuencia de aminoácidos. Ahora ésta debe plegarse de la forma adecuada para llegar a su estructura nativa, la que desempeña la función. Anfinsen en sus trabajos con la ribonucleasa A, postuló su hipótesis que dice que toda la información necesaria para el plegamiento se encuentra contenida enteramente en la estructura primaria. Esto dio pie a que en 1969 Levinthal sugiriese la existencia de una paradoja a la que se conoce como la **paradoja de Levinthal**: si una proteína se pliega explorando al azar todas las conformaciones posibles necesitaría un tiempo mayor que la edad del propio Universo. Dado que las proteínas se pliegan en un tiempo razonable y de forma espontánea, se ha resuelto esta paradoja indicando que las proteínas no prueban todas las conformaciones posibles, sino que eligen una vía de plegamiento específica con un número de pasos finitos, es decir, se reduce el hiperespacio potencial de plegamiento. También cabe mencionar la existencia de chaperonas moleculares, proteínas que ayudan a otras a plegarse con gasto energético (**ATP**).

El tamaño de la proteína sintetizada puede medirse por el número de aminoácidos que contiene y por su masa molecular total, que normalmente se expresa en daltons (**Da**) (sinónimo de unidad de masa atómica), o su unidad derivada kilodalton (**kDa**). Por ejemplo, las proteínas de la levadura tienen en promedio 466 aminoácidos y una masa de 53 kDa. Las proteínas más largas que se conocen son las titinas, un componente de el sarcómero muscular, con una masa molecular de casi 3.000 kDa y una longitud total de casi 27 000 aminoácidos.

Mediante una familia de métodos denominados de síntesis peptídica es posible sintetizar químicamente proteínas pequeñas. Estos métodos dependen de técnicas de síntesis orgánica como la ligación para producir péptidos en gran cantidad. La síntesis química permite introducir aminoácidos no naturales en la cadena polipeptídica, como por ejemplo amino ácidos con sondas fluorescentes ligadas a sus cadenas laterales. Estos métodos son útiles para utilizarse en laboratorios de bioquímica y biología celular, no tanto para aplicaciones comerciales. La síntesis química es ineficiente para polipéptidos de más de 300 aminoácidos, y las proteínas sintetizadas puede que no adopten fácilmente su estructura tridimensional nativa. La mayor parte de los métodos de síntesis química proceden del extremo **C-terminal** al extremo **N-terminal**, en dirección contraria por tanto a la reacción biológica.

**El Proteoma** son todas las proteínas expresadas por un genoma, célula o tejido.

Las proteínas ocupan un lugar de máxima importancia entre las moléculas constituyentes de los seres vivos (biomoléculas). Prácticamente todos los procesos biológicos dependen de la presencia o la actividad de este tipo de moléculas. Bastan algunos ejemplos para dar idea de la variedad y trascendencia de las funciones que desempeñan.

#### Son proteínas

- **Casi todas las enzimas** (catalizadores de reacciones químicas en organismos vivientes).
- **Muchas hormonas** (reguladores de actividades celulares).
- **La hemoglobina** (y otras moléculas con funciones de transporte en la sangre).
- **Los anticuerpos** (encargados de acciones de defensa natural contra infecciones o agentes patógenos).
- **Los receptores de las células** (a los cuales se fijan moléculas capaces de desencadenar una respuesta determinada).
- **La actina y la miosina** (responsables finales del acortamiento del músculo durante la contracción).
- **El colágeno** (integrante de fibras altamente resistentes en tejidos de sostén).

#### Funciones

Todas las proteínas realizan elementales funciones para la vida celular, pero además cada una de éstas cuenta con una función más específica de cara a nuestro organismo.

Debido a sus funciones, se pueden clasificar en:

1. **Catálisis**: Está formado por enzimas proteicas que se encargan de realizar reacciones químicas de una manera más rápida y eficiente. Procesos que resultan de suma importancia para el organismo. Por ejemplo la pepsina, ésta enzima se encuentra en el sistema digestivo y se encarga de degradar los alimentos.
2. **Reguladoras**: Las hormonas son un tipo de proteínas las cuales ayudan a que exista un equilibrio entre las funciones que realiza el cuerpo. Tal es el caso de la insulina que se encarga de regular la glucosa que se encuentra en la sangre.
3. **Estructural**: Este tipo de proteínas tienen la función de dar resistencia y elasticidad que permite formar tejidos así como la de dar soporte a otras estructuras. Este es el caso de la tubulina que se encuentra en el citoesqueleto.
4. **Defensiva**: Son las encargadas de defender el organismo. Glicoproteínas que se encargan de producir inmunoglobulinas que defienden al organismo contra cuerpos extraños, o la queratina que protege la piel, así como el fibrinógeno y protrombina que forman coágulos.
5. **Transporte**: La función de estas proteínas es llevar sustancias a través del organismo a donde sean requeridas. Proteínas como la hemoglobina que lleva el oxígeno por medio de la sangre.
6. **Receptores**: Este tipo de proteínas se encuentran en la membrana celular y llevan a cabo la función de recibir señales para que la célula pueda realizar su función, como acetilcolina que recibe señales para producir la contracción.

#### ENZIMAS

Son moléculas de naturaleza proteica y estructural que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles: una enzima hace que una reacción química que es energéticamente posible (Energía libre de Gibbs), pero que transcurre a una velocidad muy baja, sea cinéticamente favorable, es decir, transcurra a mayor velocidad que sin la presencia de la enzima. En estas reacciones, las enzimas actúan sobre unas moléculas denominadas **sustratos**, las cuales se convierten en moléculas diferentes denominadas productos. Casi todos los procesos en las células necesitan enzimas para que ocurran a unas tasas significativas. A las reacciones mediadas por enzimas se las denomina reacciones enzimáticas.

Debido a que las enzimas son extremadamente selectivas con sus sustratos y su velocidad crece solo con algunas reacciones, el conjunto (*set*) de enzimas sintetizadas en una célula determina el tipo de **metabolismo** que tendrá cada célula. A su vez, esta

síntesis depende de la regulación de la expresión génica.

Como todos los catalizadores, las enzimas funcionan disminuyendo la energía de activación ( $\Delta G^\ddagger$ ) de una reacción, de forma que se acelera sustancialmente la tasa de reacción. Las enzimas no alteran el balance energético de las reacciones en que intervienen, ni modifican, por lo tanto, el equilibrio de la reacción, pero consiguen acelerar el proceso incluso millones de veces. Una reacción que se produce bajo el control de una enzima, o de un catalizador en general, alcanza el equilibrio mucho más deprisa que la correspondiente reacción no catalizada.

Al igual que ocurre con otros catalizadores, las enzimas no son consumidas por las reacciones que catalizan, ni alteran su equilibrio químico. Sin embargo, las enzimas difieren de otros catalizadores por ser más específicas. Las enzimas catalizan alrededor de 4 000 reacciones bioquímicas distintas. No todos los catalizadores bioquímicos son proteínas, pues algunas moléculas de **ARN** son capaces de catalizar reacciones (como la subunidad 16S de los ribosomas en la que reside la actividad peptidil transferasa). También cabe nombrar unas moléculas sintéticas denominadas enzimas artificiales capaces de catalizar reacciones químicas como las enzimas clásicas. La actividad de las enzimas puede ser afectada por otras moléculas. Los inhibidores enzimáticos son moléculas que disminuyen o impiden la actividad de las enzimas, mientras que los activadores son moléculas que incrementan dicha actividad. Asimismo, gran cantidad de enzimas requieren de cofactores para su actividad. Muchas drogas o fármacos son moléculas inhibitoras. Igualmente, la actividad es afectada por la temperatura, el **pH**, la concentración de la propia enzima y del sustrato, y otros factores físico-químicos.

Algunas enzimas son usadas comercialmente, por ejemplo, en la síntesis de antibióticos y productos domésticos de limpieza. Además, son ampliamente utilizadas en diversos procesos industriales, como son la fabricación de alimentos, destinción de pantalones vaqueros o producción de biocombustibles.

## POLIMERASA

Es una enzima capaz de transcribir o replicar ácidos nucleicos. Resultan cruciales en la división celular (**ADN polimerasa**) y en la transcripción del **ADN** (**ARN polimerasa**). La **ADN polimerasa** es la enzima que lleva a cabo la reacción en cadena de la polimerasa (**PCR**), una técnica que ha desempeñado un papel esencial en el desarrollo de la genética.

## MONÓMEROS Y POLÍMEROS

Un **monómero** (del o *mono*, 'uno', y *meros*, 'parte') es una molécula de pequeña masa molecular que está unida a otros monómeros, a veces cigiegentos o miles, por medio de enlaces químicos, generalmente covalentes, formando macromoléculas llamadas polímeros. El monómero natural más común es la glucosa, que está unida por enlaces glucosídicos formando polímeros tales como la celulosa y el almidón, formando parte de más del 77% de la masa seca de toda la materia de la planta.<sup>3</sup> Muy a menudo el término monómero se refiere a las moléculas orgánicas que forman polímeros sintéticos, tales como, por ejemplo, el cloruro de vinilo, que se utiliza para producir el **PVC**. El proceso por el cual los monómeros se combinan de extremo a extremo para formar un polímero se denomina polimerización. Las moléculas hechas de un pequeño número de unidades de monómero, hasta unas pocas docenas, se denominan oligómeros.

**Los monómeros** son compuestos de bajo peso molecular que pueden unirse a otras moléculas pequeñas (ya sea iguales o diferentes) para formar macromoléculas de cadenas largas comúnmente conocidas como **polímeros**.

**Los polímeros** son mezclas de macromoléculas de distintos pesos moleculares. Por lo tanto no son especies químicas puras y tampoco tienen un punto de fusión definido. Cada una de las especies que forman a un polímero sí tiene un peso molecular determinado (**Mi**) y por lo tanto, para caracterizar una muestra de polímero se busca caracterizar la distribución de pesos moleculares de las moléculas de las especies que lo conforman: la proporción (generalmente en peso, **wi**) de cadenas de cada **Mi** que forma la mezcla.

### Polímeros naturales

- Los **aminoácidos** son los monómeros de las **proteínas**.
- Los **nucleótidos** son los monómeros de los **ácidos nucleicos**.
- Los **monosacáridos** son los monómeros de los **polisacáridos**.
- El **isopreno** es el monómero del **caucho**.

## MELANINA

Es un pigmento que se halla en la mayor parte de los seres vivos. En los animales el pigmento se deriva del aminoácido tirosina. La forma más común de melanina es la **eumelanina**, un polímero negro-marrón de ácidos carboxílicos de dihidroxindol y sus formas reducidas.

## CAROTENOIDES

Son pigmentos orgánicos del grupo de los **isoprenoides** que se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos como **algas**, algunas clases de **hongos** y **bacterias**. Se conoce la existencia de más de 700 compuestos pertenecientes a este grupo.

Los carotenoides son el grupo más representativo de los tetraterpenos, compuestos que se caracterizan por una estructura con 40 átomos de carbono, aunque no todos los carotenoides se ajustan estrictamente a esta regla. Estos átomos de carbono se encuentran ordenados formando cadenas poliénicas conjugadas en ocasiones terminadas en anillos de carbono. A los carotenoides que contienen átomos de oxígeno se les conoce más específicamente como xantofilas. Los restantes constituyen el grupo de los llamados carotenos. Su color, que varía desde amarillo pálido, pasando por anaranjado, hasta rojo oscuro, se encuentra directamente relacionado con su estructura: los enlaces dobles carbono-carbono interactúan entre sí en un proceso llamado conjugación. Mientras el número de enlaces dobles conjugados aumenta, la longitud de onda de la luz absorbida también lo hace, dando al compuesto una apariencia más rojiza. Por ejemplo, el fitoeno que posee únicamente tres enlaces dobles conjugados absorbe luz en el rango ultravioleta (**uv**) y apareciendo por tanto incoloro a la vista, el licopeno, compuesto que confiere su color rojo al tomate contiene 11 enlaces dobles conjugados. Existen también carotenoides de color verde (**ζ-Caroteno**), amarillo (**β-caroteno**), y anaranjado (neurosporaxantina).

En organismos fotosintéticos los carotenoides desempeñan un papel vital en los centros de reacción, ya sea participando en el proceso de transferencia de energía, o protegiendo el centro de reacción contra la autooxidación. En los organismos no

fotosintéticos, los carotenoides han sido vinculados a los mecanismos de prevención de la oxidación.

Los animales son incapaces de sintetizar carotenoides y deben obtenerlos a través de su dieta, siendo estos compuestos importantes por su función biológica como pro-vitamina A.

Como ejemplo de estos compuestos en la naturaleza, podemos citar al carotenoide mejor conocido, el que da al grupo su nombre, el caroteno, encontrado en zanahorias y responsable de su color anaranjado brillante. El color rosado del flamenco y el del salmón, y la coloración roja de las langostas, también son producidos por carotenoides.

Entre las aplicaciones más importantes de los carotenoides podemos mencionar su uso como pigmentos naturales, así como su papel como complemento alimenticio.

## **VITAMINAS** (del latín *vita* 'vida' y el griego 'producto libio', 'amoniaco', con el sufijo latino *ina* 'sustancia')

Son compuestos heterogéneos imprescindibles para la vida, que al ingerirlos de forma equilibrada y en dosis esenciales promueven el correcto funcionamiento fisiológico.

La mayoría de las vitaminas esenciales no pueden ser sintetizadas (elaboradas) por el organismo, por lo que éste no puede obtenerlas más que a través de la ingesta equilibrada de vitaminas contenidas en los alimentos naturales.

Las vitaminas son nutrientes que junto con otros elementos nutricionales actúan como catalizadoras de todos los procesos fisiológicos (directa e indirectamente).

Las frutas y verduras son fuentes importantes de vitaminas. Las vitaminas son precursoras de coenzimas, (aunque no son propiamente enzimas) grupos prostéticos de las enzimas. Esto significa que la molécula de la vitamina, con un pequeño cambio en su estructura, pasa a ser la molécula activa, sea ésta coenzima o no.

Los requisitos mínimos diarios de las vitaminas no son muy altos, se necesitan tan solo dosis de miligramos o microgramos contenidas en grandes cantidades (proporcionalmente hablando) de alimentos naturales. Tanto la deficiencia como el exceso de los niveles vitamínicos corporales pueden producir enfermedades que van desde leves a graves e incluso muy graves como la pelagra o la demencia entre otras, e incluso la muerte. Algunas pueden servir como ayuda a las enzimas que actúan como cofactor, como es el caso de las vitaminas hidrosolubles. La deficiencia de vitaminas se denomina avitaminosis mientras que el nivel excesivo de vitaminas se denomina hipervitaminosis.

Está demostrado que las vitaminas del grupo B son imprescindibles para el correcto funcionamiento del cerebro y el metabolismo corporal. Este grupo es hidrosoluble (solubles en agua) debido a esto son eliminadas principalmente por la orina, lo cual hace que sea necesaria la ingesta diaria y constante de todas las vitaminas del complejo "B" (contenidas en los alimentos naturales).

Las vitaminas se pueden clasificar según su solubilidad: si lo son en agua **hidrosolubles** o si lo son en lípidos **liposolubles**. En los seres humanos hay 13 vitaminas que se clasifican en dos grupos: (9) hidrosolubles (8 del complejo **B** y la **vitamina C**) y (4) liposolubles (**A**, **D**, **E** y **K**).

- **Vitaminas liposolubles:** Las vitaminas liposolubles se consumen junto con alimentos que contienen grasa. Son las que se disuelven en grasas y aceites. Se almacenan en el hígado y en los tejidos grasos, debido a que se pueden almacenar en la grasa del cuerpo no es necesario tomarlas todos los días por lo que es posible, tras un consumo suficiente, subsistir una época sin su aporte. Si se consumen en exceso (más de 10 veces las cantidades recomendadas) pueden resultar tóxicas. Esto les puede ocurrir sobre todo a deportistas, que aunque mantienen una dieta equilibrada recurren a suplementos vitamínicos en dosis elevadas, con la idea de que así pueden aumentar su rendimiento físico. Esto es totalmente falso, así como la creencia de que los niños van a crecer más si toman más vitaminas de las necesarias. **Las vitaminas liposolubles son: Vitamina A** (retinolfalina), **Vitamina D** (calciferol), **Vitamina E** (tocoferol), **Vitamina K** (antihemorrágica). Estas vitaminas no contienen nitrógeno, son solubles en grasa, y por tanto, son transportadas en la grasa de los alimentos que la contienen. Por otra parte, son bastante estables frente al calor (la **vitamina C** se degrada a 90° en oxalatos tóxicos). Se absorben en el intestino delgado con la grasa alimentaria y pueden almacenarse en el cuerpo en mayor o menor grado (no se excretan en la orina). Dada a la capacidad de almacenamiento que tienen estas vitaminas no se requiere una ingesta diaria.
- **Vitaminas hidrosolubles:** Las vitaminas hidrosolubles son aquellas que se disuelven en agua. Se trata de coenzimas o precursores de coenzimas, necesarias para muchas reacciones químicas del metabolismo. En este grupo de vitaminas, se incluyen las vitaminas: **B<sub>1</sub>** (tiamina), **B<sub>2</sub>** (riboflavina), **B<sub>3</sub>** (niacina o ácido nicotínico), **B<sub>5</sub>** (ácido pantoténico), **B<sub>6</sub>** (piridoxina), **B<sub>7</sub>/B<sub>8</sub>** (biotina), **B<sub>9</sub>** (ácido fólico), **B<sub>12</sub>** (cobalamina) y **vitamina C** (ácido ascórbico). Estas vitaminas contienen nitrógeno en su molécula (excepto la vitamina C) y no se almacenan en el organismo, a excepción de la vitamina B12, que lo hace de modo importante en el hígado. El exceso de vitaminas ingeridas se excreta en la orina, por lo cual se requiere una ingesta prácticamente diaria, ya que al no almacenarse se depende de la dieta. Por otro lado, estas vitaminas se disuelven en el agua de cocción de los alimentos con facilidad, por lo que resulta conveniente aprovechar esa agua para preparar caldos o sopas.

**AVITAMINOSIS:** La deficiencia de vitaminas puede producir trastornos más o menos graves, según el grado de deficiencia, llegando incluso a la muerte. Respecto a la posibilidad de que estas deficiencias se produzcan en el mundo desarrollado hay posturas muy enfrentadas.

**Por un lado** están los que aseguran que es prácticamente imposible que se produzca una avitaminosis, y por otro los que responden que es bastante difícil llegar a las dosis de vitaminas mínimas, y por tanto, es fácil adquirir una deficiencia, por lo menos leve. Normalmente, los que alegan que es "poco probable" una avitaminosis son mayoría. Este grupo mayoritario argumenta que:

- Las necesidades de vitaminas son mínimas, y no hay que preocuparse por ellas, en comparación con otros macronutrientes.
- Se hace un abuso de suplementos vitamínicos.
- En nuestro entorno se hace una dieta lo suficientemente variada para cubrir todas las necesidades.
- La calidad de los alimentos en nuestra sociedad es suficientemente alta.

**Por el lado contrario** se responde que:

- La cantidad necesaria de vitaminas son pequeñas, pero también lo son las cantidades que se encuentran en los alimentos.
- No son raras las carencias de algún nutriente entre la población de países desarrollados: hierro y otros minerales,

antioxidantes (muy relacionados con las vitaminas), etc.

- Las vitaminas se ven afectadas negativamente por los mismos factores que los demás nutrientes, a los que suman otros como: el calor, el pH, la luz, el oxígeno, etc.
- Basta que no se sigan las recomendaciones mínimas de consumir **5 porciones de verduras o frutas al día** para que no se llegue a cubrir las necesidades diarias básicas.
- Cualquier factor que afecte negativamente a la alimentación, como puede ser, cambios de residencia, falta de tiempo, mala educación nutricional o problemas económicos; puede provocar alguna deficiencia de vitaminas u otros nutrientes.
- Son bien conocidos, desde hace siglos, los síntomas de avitaminosis severas. Pero no se sabe tan bien como diagnosticar una deficiencia leve a partir de sus posibles síntomas como podrían ser: las estrías en las uñas, sangrado de las encías, problemas de memoria, dolores musculares, falta de ánimo, torpeza, problemas de vista, etc.

Por estos motivos un bando recomienda consumir suplementos vitamínicos si se sospecha que no se llega a las dosis necesarias. Por el contrario, el otro bando lo ve innecesario, y avisan que abusar de suplementos puede ser perjudicial.

**HIPERVITAMINOSIS Y TOXICIDAD DE LAS VITAMINAS:** Las vitaminas aunque son esenciales, pueden ser tóxicas en grandes cantidades. Unas son muy tóxicas y otras son inocuas incluso en cantidades muy altas. La toxicidad puede variar según la forma de aplicar las dosis. Como ejemplo, la **vitamina D** se administra en cantidades suficientemente altas como para cubrir las necesidades para 6 meses; sin embargo, no se podría hacer lo mismo con **vitamina B3** o **B6**, porque sería muy tóxica. Otro ejemplo es el que la suplementación con vitaminas hidrosolubles a largo plazo, se tolera mejor debido a que los excedentes se eliminan fácilmente por la orina. Las vitaminas más tóxicas son la **D**, y la **A**, también lo puede ser la **vitamina B3**. Otras vitaminas, sin embargo, son muy poco tóxicas o prácticamente inocuas. La **B<sub>12</sub>** no posee toxicidad incluso con dosis muy altas. A la **tiamina** le ocurre parecido, sin embargo con dosis muy altas y durante mucho tiempo puede provocar problemas de tiroides. En el caso de la vitamina E, solo es tóxica con suplementos específicos de vitamina E y con dosis muy elevadas. También se conocen casos de intoxicaciones en esquimales al comer hígado de mamíferos marinos (el cual contiene altas concentraciones de vitaminas liposolubles).

#### VITAMINA D

Es una vitamina liposoluble. Las vitaminas liposolubles se almacenan en el tejido graso del cuerpo. **La vitamina D ayuda al cuerpo a absorber el calcio.** El calcio y el fósforo son dos minerales esenciales para la formación normal de los huesos. Durante toda la niñez, el cuerpo utiliza estos minerales para producir huesos. Si usted no obtiene suficiente calcio o si el cuerpo no absorbe el calcio suficiente de la dieta, la producción de hueso y los tejidos óseos pueden sufrir. La deficiencia de vitamina **D** puede llevar a **osteoporosis** en adultos o **raquitismo** en niños. El cuerpo produce la vitamina **D** cuando la piel se expone directamente al sol. Por eso, con frecuencia se denomina la vitamina de la "luz del sol". La mayoría de las personas satisfacen al menos algunas de sus necesidades de vitamina **D** de esta manera. Muy pocos alimentos contienen vitamina **D** de manera natural. En consecuencia, muchos alimentos son enriquecidos con esta vitamina. Fortificado o enriquecido quiere decir que al alimento se le han agregado las vitaminas. Los pescados grasos (atún, salmón y caballa) están entre las mejores fuentes de vitamina **D**. El hígado de res, el queso y las yemas de los huevos suministran pequeñas cantidades. Los champiñones proporcionan algo de vitamina **D**. El contenido de vitamina **D** también se está reforzando por la exposición de ciertos hongos disponibles comercialmente a la luz ultravioleta. La mayor parte de la leche en los Estados Unidos viene fortificada con 400 UI de vitamina **D** por cuarto. Debe tenerse en cuenta que los alimentos a base de leche, como el queso y el helado, no suelen ser fortificados. La vitamina **D** se le agrega a muchos cereales para el desayuno y a algunas marcas de bebidas de soya, jugo de naranja, yogur y margarina. Revise la tabla de información nutricional en la etiqueta de los alimentos. Puede ser muy difícil obtener suficiente vitamina **D** de fuentes alimentarias solamente. En consecuencia, algunas personas posiblemente necesiten tomar un suplemento de esta vitamina. La vitamina **D** que se encuentra en los suplementos y alimentos enriquecidos viene en dos formas diferentes:

- **D2** (ergocalciferol)
- **D3** (colecalfiferol)

**Efectos secundarios:** Demasiada **vitamina D** puede hacer que los intestinos absorban demasiado calcio, lo cual puede provocar niveles altos de este mineral en la sangre. Los niveles altos de calcio en la sangre pueden llevar a que se presenten:

- Depósitos de este mineral en los tejidos blandos como el corazón y los pulmones.
- Confusión y desorientación.
- Daño a los riñones.
- Cálculos renales.
- Náuseas, vómitos, estreñimiento, inapetencia, debilidad y pérdida de peso.

**Recomendaciones:** De 10 a 15 minutos de exposición al sol tres veces a la semana son suficientes para producir los requerimientos corporales de esta vitamina. Es necesario que el sol alumbre sobre la piel de la cara, los brazos, la espalda o las piernas (sin protector solar).

Debido a que la exposición a la luz solar es un riesgo para el cáncer de piel, se debe usar protector solar después de unos cuantos minutos en el sol.

Es posible que las personas que no viven en lugares soleados no produzcan suficiente vitamina **D**. La piel expuesta a la luz solar en espacios cerrados a través de una ventana no producirá vitamina **D**. Los días nublados, la sombra y tener la piel oscura igualmente disminuyen la cantidad de vitamina **D** que la piel produce.

Dado que la vitamina **D** puede provenir de sol, la comida y los suplementos, la mejor medida del estado de dicha vitamina en una persona son los niveles sanguíneos de una forma conocida como 25-hidroxivitamina **D**. Los niveles sanguíneos se describen ya sea como nanogramos por mililitro (ng / mL) o nanomoles por litro (nmol / L), donde 0,4 ng / mL = 1 nmol / L.

Los niveles inferiores a 30 nmol / L (12 ng / ml) son demasiado bajos para los huesos o la salud en general, y los niveles por encima de 125 nmol / L (50 ng / ml) son probablemente demasiado altos. Los niveles de 50 nmol / L o superior (20 ng / ml o superior) son suficientes para la mayoría de los individuos.

La ración de dieta recomendada (**RDR**) para vitaminas refleja qué tanta cantidad de cada vitamina deben obtener la mayoría de las personas cada día.

- La **RDR** para las vitaminas se puede usar como meta para cada persona.

- La cantidad de cada vitamina que usted necesita depende de la edad y el sexo. Otros factores, como el embarazo y la salud, también son importantes.

**Lactantes** (ingesta adecuada de vitamina D)

- 0 - 6 meses: 400 UI (10 microgramos [mcg] por día).
- 7 - 12 meses: 400 UI (10 mcg/día).

**Niños**

- 1 - 3 años: 600 UI (15 mcg/día).
- 4 - 8 años: 600 UI (15 mcg/día).

**Niños mayores y adultos**

- 9 - 70 años: 600 UI (15 mcg/día).
- Adultos de más de 70 años: 800 UI (20 mcg/día).
- Embarazo y lactancia: 600 UI (15 mcg/día).

En general, **las personas de más de 50 años** necesitan cantidades mayores de **vitamina D** que las personas más jóvenes.

La toxicidad de la **vitamina D** casi siempre ocurre por el uso de demasiados suplementos. El límite superior seguro para la vitamina D es:

- 1,000 a 1,500 UI/día para lactantes.
- 2,500 a 3,000 UI/día para niños de 1 a 8 años.
- 4,000 UI/día para niños de 9 años en adelante, adultos, al igual que mujeres y adolescentes embarazadas y lactantes.

Un microgramo de colesteciferol (**D<sub>3</sub>**) es lo mismo que 40 UI de **vitamina D**.

**Nombres alternativos.**

- Vitamina **D3**: Colecalciferol
- Vitamina **D2**: Ergocalciferol

**FOTOLIASAS**

Son enzimas de reparación del **ADN**, las cuales reparan el daño causado por la exposición a la luz ultravioleta. Este mecanismo enzimático requiere de luz visible, preferentemente de longitudes de onda entre 400 y 500 nm (colores violeta y azul) para actuar, en un proceso conocido como fotorreactivación.

La fotoliasa es una enzima filogenéticamente antigua, presente en organismos **procariotas**, y muchos **eucariotas**. Es particularmente importante en la reparación del daño producido por las radiaciones **uv** en plantas. Sin embargo, en humanos y otros mamíferos placentarios, no existe sistema de fotorreactivación, en cambio sólo presentan mecanismos de reparación por escisión.

El daño en el **ADN** causado por efecto de la luz ultravioleta, se manifiesta en la formación de dímeros de timina. Estos dímeros, forman una suerte de bulto en la estructura primaria del **ADN**, obstaculizando el paso de la **ADN** polimerasa. La enzima fotoliasa actúa separando el anillo de ciclobutano de los dímeros de timina, reconociendo los lugares defectuosos en la hebra de **ADN**, y abriendo los dos enlaces **C-C** del anillo de ciclobutano con la ayuda de dos cofactores que absorben la luz en el espectro visible mencionada anteriormente.

**NUCLEÓTIIDO**

**Compuesto orgánico** que está formado por una **base nitrogenada**, un **azúcar** y **ácido fosfórico**. Es posible dividir los nucleótidos en:

- **ribonucleótidos** (cuando el azúcar es la ribosa) y
- **desoxirribonucleótidos** (si el azúcar es la desoxirribosa).

Los nucleótidos pueden actuar como **monómeros** en los ácidos nucleicos (el **ADN** o el **ARN**), formando cadenas lineales, o actuar como **moléculas libres** (como es el caso del **ATP**).

**ÁCIDOS NUCLEICOS**

Son grandes polímeros formados por la repetición de monómeros denominados nucleótidos, unidos mediante enlaces fosfodiéster. Se forman, así, largas cadenas; algunas moléculas de ácidos nucleicos llegan a alcanzar tamaños gigantescos, con millones de nucleótidos encadenados.

**Los ácidos nucleicos almacenan la información genética de los organismos vivos y son los responsables de la transmisión hereditaria.**

El descubrimiento de los ácidos nucleicos se debe a Friedrich Miescher, quien en el año 1869 aisló de los núcleos de las células una sustancia ácida a la que llamó *nucleína*, nombre que posteriormente se cambió a ácido nucleico. Posteriormente, en 1953, James Watson y Francis Crick descubrieron la estructura del **ADN**, empleando la técnica de difracción de rayos X.

**Existen dos tipos de ácidos nucleicos: ADN** (ácido desoxirribonucleico) y **ARN** (ácido ribonucleico), que se diferencian:

- **por el glúcido** (la pentosa es diferente en cada uno; ribosa en el **ARN** y desoxirribosa en el **ADN**);
- **por las bases nitrogenadas**: adenina, guanina, citosina y timina, en el **ADN**; adenina, guanina, citosina y uracilo, en el **ARN**.

En la inmensa mayoría de organismos del cuerpo humano, el **ADN** es **bicatenario** (dos cadenas unidas formando una doble hélice), mientras que el **ARN** es **monocatenario** (una sola cadena), aunque puede presentarse en forma extendida, como el

**ARNm**, o en forma plegada, como el **ARNt** y el **ARNr**; en la masa molecular: la del **ADN** es generalmente mayor que la del **ARN**.

**Las unidades que forman los ácidos nucleicos son los nucleótidos.** Cada nucleótido es una molécula compuesta por la unión de tres unidades: un monosacárido de cinco carbonos (una pentosa, ribosa en el **ARN** y desoxirribosa en el **ADN**, una base nitrogenada purínica (adenina, guanina) o pirimidínica (citosina, timina o uracilo) y un grupo fosfato (ácido fosfórico). Tanto la base nitrogenada como los grupos fosfato están unidos a la pentosa.

La unidad formada por el enlace de la **pentosa** y de la **base nitrogenada** se denomina **nucleósido**.

El conjunto formado por **un nucleósido** y uno o varios grupos fosfato unidos al carbono 5' de la pentosa recibe el nombre de **nucleótido**. Se denomina **nucleótido-monofosfato** (como el **AMP**) cuando hay un solo grupo fosfato, **nucleótido-difosfato** (como el **ADP**) si lleva dos y nucleótido-trifosfato (como el **ATP**) si lleva tres.

Las bases nitrogenadas conocidas son:

- Adenina, presente en **ADN** y **ARN**
- Guanina, presente en **ADN** y **ARN**
- Citosina, presente en **ADN** y **ARN**
- Timina, presente exclusivamente en el **ADN**
- Uracilo, presente exclusivamente en el **ARN**

El **ADN es bicatenario**; está constituido por dos cadenas polinucleotídicas unidas entre sí en toda su longitud. Esta doble cadena puede disponerse en forma **lineal** (**ADN** del núcleo de las células eucarióticas) o en forma **circular** (**ADN** de las células procarióticas, así como de las mitocondrias y cloroplastos eucarióticos). La molécula de **ADN** porta la información necesaria para el desarrollo de las características biológicas de un individuo y contiene los mensajes e instrucciones para que las células realicen sus funciones. Dependiendo de la composición del **ADN** (refiriéndose a composición como la secuencia particular de bases), puede desnaturalizarse o romperse los puentes de hidrógenos entre bases pasando a **ADN** de cadena simple o **ADNsc** abreviadamente.

**Excepcionalmente**, el **ADN** de algunos virus es **monocatenario**.

#### Estructuras ADN

- **Estructura primaria.** Una cadena de desoxirribonucleótidos (monocatenario) es decir, está formado por un solo polinucleótido, sin cadena complementaria. No es funcional, excepto en algunos virus.
- **Estructura secundaria.** Doble hélice, estructura bicatenaria, dos cadenas de nucleótidos complementarias, antiparalelas, unidas entre sí por las bases nitrogenadas por medio de puentes de hidrógeno. Está enrollada helicoidalmente en torno a un eje imaginario. Hay tres tipos:

**Doble hélice A**, con giro dextrógiro, pero las vueltas se encuentran en un plano inclinado (**ADN no codificante**).

**Doble hélice B**, con giro dextrógiro, vueltas perpendiculares (**ADN funcional**).

**Doble hélice Z**, con giro levógiro, vueltas perpendiculares (no funcional); se encuentra presente en los parvovirus.

#### Características del ARN

El **ARN** difiere del **ADN** en que la pentosa de los nucleótidos constituyentes es ribosa en lugar de desoxirribosa, y en que, en lugar de las cuatro bases **A, G, C, T**, aparece **A, G, C, U** (es decir, uracilo en lugar de timina). Las cadenas de **ARN** son más cortas que las de **ADN**, aunque dicha característica es debido a consideraciones de carácter biológico, ya que no existe limitación química para formar cadenas de **ARN** tan largas como de **ADN**, al ser el enlace fosfodiéster químicamente idéntico. El **ARN** está constituido casi siempre por una única cadena (es monocatenario), aunque en ciertas situaciones, como en los **ARNt** y **ARNr** puede formar estructuras plegadas complejas y estables.

Mientras que el **ADN** contiene la información, el **ARN** expresa dicha información, pasando de una secuencia lineal de nucleótidos, a una secuencia lineal de aminoácidos en una proteína. Para expresar dicha información, se necesitan varias etapas y, en consecuencia existen varios tipos de **ARN**:

- El **ARN mensajero** se sintetiza en el núcleo de la célula, y su secuencia de bases es complementaria de un fragmento de una de las cadenas de **ADN**. Actúa como intermediario en el traslado de la información genética desde el núcleo hasta el citoplasma. Poco después de su síntesis sale del núcleo a través de los poros nucleares asociándose a los ribosomas donde actúa como matriz o molde que ordena los aminoácidos en la cadena proteica. Su vida es muy corta: una vez cumplida su misión, se destruye.
- El **ARN de transferencia** existe en forma de moléculas relativamente pequeñas. La única hebra de la que consta la molécula puede llegar a presentar zonas de estructura secundaria gracias a los enlaces por puente de hidrógeno que se forman entre bases complementarias, lo que da lugar a que se formen una serie de brazos, bucles o asas. Su función es la de captar aminoácidos en el citoplasma uniéndose a ellos y transportándolos hasta los ribosomas, colocándolos en el lugar adecuado que indica la secuencia de nucleótidos del **ARN mensajero** para llegar a la síntesis de una cadena polipeptídica determinada y por lo tanto, a la síntesis de una proteína.
- El **ARN ribosómico** es el más abundante (80 por ciento del total del **ARN**), se encuentra en los ribosomas y forma parte de ellos, aunque también existen proteínas ribosómicas. El **ARN ribosómico** recién sintetizado es empaquetado inmediatamente con proteínas ribosómicas, dando lugar a las subunidades del ribosoma.

#### Ácidos nucleicos artificiales o ribonucleicos

Existen, aparte de los naturales, algunos ácidos nucleicos no presentes en la naturaleza (Análogos de ácidos nucleicos), sintetizados en el laboratorio.

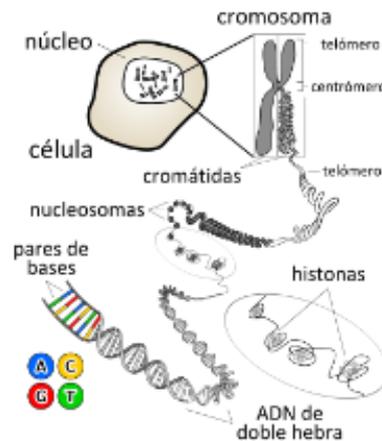
- **Ácido nucleico peptídico**, donde el esqueleto de fosfato-desoxirribosa ha sido sustituido por 2-(N-aminoetil) glicina, unida por un enlace peptídico clásico. Las bases púricas y pirimidínicas se unen al esqueleto por el carbono carbonílico. Al carecer de un esqueleto cargado (el ion fosfato lleva una carga negativa a **pH fisiológico** en el **ADN/ARN**), se une con más fuerza a una cadena complementaria de **ADN** monocatenario, al no existir repulsión electrostática. La fuerza de

interacción crece cuando se forma un **ANP** bicatenario. Este ácido nucleico, al no ser reconocido por algunos enzimas debido a su diferente estructura, resiste la acción de nucleasas y proteasas.

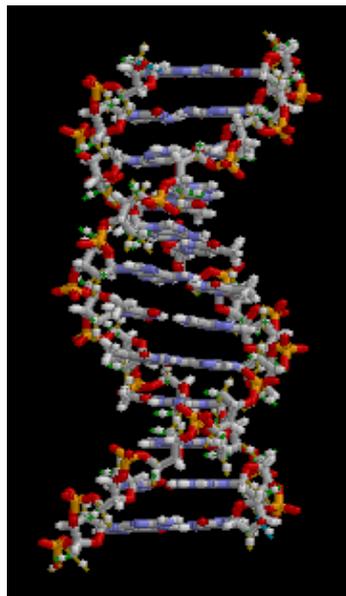
- **Morfolino y ácido nucleico bloqueado (LNA, en inglés).** El morfolino es un derivado de un ácido nucleico natural, con la diferencia de que usa un anillo de morfolina en vez del azúcar, conservando el enlace fosfodiéster y la base nitrogenada de los ácidos nucleicos naturales. Se usan con fines de investigación, generalmente en forma de oligómeros de 25 nucleótidos. Se usan para hacer genética inversa, ya que son capaces de unirse complementariamente a **pre-ARNm**, con lo que se evita su posterior recorte y procesamiento. También tienen un uso farmacéutico, y pueden actuar contra bacterias y virus o para tratar enfermedades genéticas al impedir la traducción de un determinado **ARNm**.
- **Ácido nucleico glicólico.** Es un ácido nucleico artificial donde se sustituye la ribosa por glicerol, conservando la base y el enlace fosfodiéster. No existe en la naturaleza. Puede unirse complementariamente al **ADN** y al **ARN**, y sorprendentemente, lo hace de forma más estable. Es la forma químicamente más simple de un ácido nucleico y se especula con que haya sido el precursor ancestral de los actuales ácidos nucleicos.
- **Ácido nucleico treósico.** Se diferencia de los ácidos nucleicos naturales en el azúcar del esqueleto, que en este caso es una treosa. Se han sintetizado cadenas híbridas **ATN-ADN** usando **ADN polimerasas**. Se une complementariamente al **ARN**, y podría haber sido su precursor.

### ÁCIDO DESOXIRRIBONUCLEICO (abreviado como **ADN**)

Es un ácido nucleico que contiene las instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos conocidos y algunos virus, y es responsable de su transmisión hereditaria. La función principal de la molécula de **ADN** es el almacenamiento a largo plazo de información. Muchas veces, el **ADN** es comparado con un plano o una receta, o un código, ya que contiene las instrucciones necesarias para construir otros componentes de las células, como las proteínas y las moléculas de **ARN**. Los segmentos de **ADN** que llevan esta información genética son llamados genes, pero las otras secuencias de **ADN** tienen propósitos estructurales o toman parte en la regulación del uso de esta información genética.



Ubicación del ADN dentro de una célula eucariota.



Parte de una estructura de ADN de doble hélice

**Desde el punto de vista químico, el ADN es un polímero de nucleótidos, es decir, un polinucleótido.** Un polímero es un compuesto formado por muchas unidades simples conectadas entre sí, como si fuera un largo *tren* formado por *vagones*. En el **ADN**, cada *vagón* es un nucleótido, y cada nucleótido, a su vez, está formado por un azúcar (la desoxirribosa), una base nitrogenada (que puede ser adenina → *A*, timina → *T*, citosina → *C* o guanina → *G*) y un grupo fosfato que actúa como enganche de cada *vagón* con el siguiente. Lo que distingue a un *vagón* (nucleótido) de otro es, entonces, la base nitrogenada, y por ello la secuencia del **ADN** se especifica nombrando sólo la secuencia de sus bases. La disposición secuencial de estas cuatro bases a lo largo de la cadena (el ordenamiento de los cuatro tipos de *vagones* a lo largo de todo el *tren*) es la que codifica la información genética: por ejemplo, una secuencia de **ADN** puede ser *ATGCTAGATCGC...* En los organismos vivos, el **ADN** se presenta como una doble cadena de nucleótidos, en la que las dos hebras están unidas entre sí por unas conexiones denominadas puentes de hidrógeno.

Para que la información que contiene el **ADN** pueda ser utilizada por la maquinaria celular, debe copiarse en primer lugar en unos *trenes* de nucleótidos, más cortos y con unas unidades diferentes, llamados **ARN**. Las moléculas de **ARN** se copian exactamente del **ADN** mediante un proceso denominado transcripción. Una vez procesadas en el núcleo celular, las moléculas de **ARN** pueden salir al citoplasma para su utilización posterior. La información contenida en el **ARN** se interpreta usando el código genético, que especifica la secuencia de los aminoácidos de las proteínas, según una correspondencia de un triplete de nucleótidos (codón) para cada aminoácido. Esto es, la información genética (esencialmente: qué proteínas se van a producir en cada momento del ciclo de vida de una célula) se halla codificada en las secuencias de nucleótidos del **ADN** y debe traducirse para poder funcionar. Tal traducción se realiza usando el código genético a modo de diccionario. El diccionario "secuencia de nucleótido-secuencia de aminoácidos" permite el ensamblado de largas cadenas de aminoácidos (las proteínas) en el citoplasma de la célula. Por ejemplo, en el caso de la secuencia de **ADN** indicada antes (*ATGCTAGATCGC...*), la **ARN polimerasa** utilizaría como molde la cadena complementaria de dicha secuencia de **ADN** (que sería *TAC- GAT-CTA -GCG-...*) para transcribir una molécula de **ARNm** que se leería *AUG-CUA-GAU-CGC-...*; el **ARNm** resultante, utilizando el código genético, se traduciría como la secuencia de aminoácidos metionina-leucina-ácido aspártico-arginina-.

Las secuencias de **ADN** que constituyen la unidad fundamental, física y funcional de la herencia se denominan genes. Cada gen contiene una parte que se transcribe a **ARN** y otra que se encarga de definir cuándo y dónde deben expresarse. La información contenida en los genes (genética) se emplea para generar **ARN** y proteínas, que son los componentes básicos de las células, los "ladrillos" que se utilizan para la construcción de los orgánulos u organelos celulares, entre otras funciones.

Dentro de las células, el **ADN** está organizado en estructuras llamadas cromosomas que, durante el ciclo celular, se duplican antes de que la célula se divida. Los organismos eucariotas (por ejemplo, animales, plantas, y hongos) almacenan la mayor parte de su **ADN** dentro del núcleo celular y una mínima parte en elementos celulares llamados mitocondrias, y en los plastos y los centros organizadores de microtúbulos o centríolos, en caso de tenerlos; los organismos procariotas (bacterias y arqueas) lo almacenan en el citoplasma de la célula, y, por último, los virus **ADN** lo hacen en el interior de la cápside de naturaleza proteica. Existen multitud de proteínas, como por ejemplo las histonas y los factores de transcripción, que se unen al **ADN** dotándolo de una estructura tridimensional determinada y regulando su expresión. Los factores de transcripción reconocen secuencias reguladoras del **ADN** y especifican la pauta de transcripción de los genes. El material genético completo de una dotación cromosómica se denomina genoma y, con pequeñas variaciones, es característico de cada especie.

## **METABOLISMO** (del griego *metabolé*, 'cambio')

El metabolismo se refiere a todos los procesos físicos y químicos del cuerpo que convierten o usan energía, tales como:

- Respiración
- Circulación sanguínea
- Regulación de la temperatura corporal
- Contracción muscular
- Digestión de alimentos y nutrientes
- Eliminación de los desechos a través de la orina y de las heces
- Funcionamiento del cerebro y los nervios

El **metabolismo** es el conjunto de reacciones bioquímicas y procesos físico- químicos que ocurren en una célula y en el organismo. Estos complejos procesos interrelacionados son la base de la vida, a escala molecular, y permiten las diversas actividades de las células: crecer, reproducirse, mantener sus estructuras, responder a estímulos, etc. Mediante esas reacciones se transforman las moléculas nutritivas que, digeridas y transportadas por la sangre, llegan a ellas, tiene principalmente dos finalidades:

- **Obtener energía química utilizable por la célula**, que se almacena en forma de **ATP** (adenosín trifosfato). Esta energía se obtiene por degradación de los nutrientes que se toman directamente del exterior o bien por degradación de otros compuestos que se han fabricado con esos nutrientes y que se almacenan como reserva.
- **Fabricar sus propios compuestos a partir de los nutrientes**, que serán utilizados para crear sus estructuras o para almacenarlos como reserva.

Al producirse en las células de un organismo, se dice que existe un metabolismo celular permanente en todos los seres vivos, y que en ellos se produce una continua reacción química.

El metabolismo se divide en dos procesos conjugados: **catabolismo** y **anabolismo**:

- **Las reacciones catabólicas** liberan energía; un ejemplo es la glucólisis, un proceso de degradación de compuestos como la glucosa, cuya reacción resulta en la liberación de la energía retenida en sus enlaces químicos.
- **Las reacciones anabólicas**, en cambio, utilizan esta energía liberada para restaurar enlaces químicos y construir componentes de las células como lo son las proteínas y los ácidos nucleicos. El catabolismo y el anabolismo son procesos acoplados que hacen al metabolismo en conjunto, puesto que cada uno depende del otro.

Este proceso se realiza en las personas con unas enzimas localizadas en el hígado. En el caso de las drogas psicoactivas a menudo lo que se trata simplemente es de eliminar su capacidad de pasar a través de las membranas de lípidos, de forma que

ya no puedan pasar la barrera hematoencefálica, con lo que no alcanzan el sistema nervioso central, por tanto, la importancia del hígado y el porqué este órgano se ve afectado comúnmente en los casos de consumo masivo o continuado de drogas.

La economía que la actividad celular impone sobre sus recursos obliga a organizar estrictamente las reacciones químicas del metabolismo en vías o rutas metabólicas, donde un compuesto químico (sustrato) es transformado en otro (producto), y este a su vez funciona como sustrato para generar otro producto, siguiendo una secuencia de reacciones bajo la intervención de diferentes enzimas (generalmente una para cada sustrato-reacción). Las enzimas son esenciales en el metabolismo ya que son aquellas que agilizan las reacciones físico-químicas, pues hacen que posibles reacciones termodinámicas deseadas pero "no favorables", mediante un acoplamiento, resulten en reacciones favorables. Debido a que las enzimas se comportan como factores reguladores de las vías metabólicas, modificando su funcionalidad —y por ende, la actividad completa de la vía metabólica— en respuesta al ambiente y necesidades de la célula, o según señales de otras células, son llamadas catalizadores biológicos.

El metabolismo de un organismo determina las sustancias que encontrará nutritivas y cuáles encontrará tóxicas. Por ejemplo, algunas procariotas utilizan sulfuro de hidrógeno como nutriente, pero este gas es venenoso para los animales. La velocidad del metabolismo, el rango metabólico, también influye en cuánto alimento va a requerir un organismo.

Una característica del metabolismo es la similitud de las rutas metabólicas básicas incluso entre especies muy diferentes. Por ejemplo: la secuencia de pasos químicos en una vía metabólica como el ciclo de Krebs es universal entre células vivientes tan diversas como la bacteria unicelular *Escherichia coli* y organismos pluricelulares como el elefante. Esta estructura metabólica compartida es probablemente el resultado de la alta eficiencia de estas rutas, y de su temprana aparición en la historia evolutiva.