

## • **Evolución del pensamiento sobre el sistema solar.**

Antes de que Copérnico a finales del siglo XVI planteara que los planetas giraban en círculos alrededor del Sol (teoría heliocentrista), las ideas predominantes eran las que afirmaban que la Tierra era el centro del Universo (teorías geocentristas).

Newton formuló una ley que explica la dinámica del movimiento de los planetas. Es la ley de la gravitación, primer avance importante para el estudio del Universo.

A comienzos del siglo XX, Hubble consideró que el sistema solar estaba integrado en una galaxia, la Vía Láctea, que a su vez formaba parte de un universo, constituido por millones de galaxias que se separaban unas de otras. Para explicar este alejamiento propuso la teoría del big bang, según la cual hace 15.000 millones de años, el universo estaba comprimido en un punto difícilmente imaginable. Por causas todavía desconocidas, este punto no pudo mantener su equilibrio y se produjo una violenta explosión que dispersó los fragmentos del universo primitivo en todas las direcciones a gran velocidad.

En 1905, Albert Einstein publicó su teoría de la relatividad. Según esta teoría, en el universo no existe ningún punto fijo e inmóvil, sino que todo está en movimiento. No existen por lo tanto, ni velocidades ni medidas absolutas. Asimismo, según esta teoría, la masa de un cuerpo aumenta al aumentar su velocidad y su longitud disminuye en el sentido del movimiento y el tiempo transcurre más despacio. Así, la fuerza gravitatoria universal descrita por Newton no es constante. Una de las consecuencias de la relatividad es que la materia y la energía son intercambiables; es decir, la materia puede transformarse en energía y viceversa.

## • **Teorías sobre el sistema solar.**

### Las hipótesis de fragmentación o hipótesis catastrofistas.

Parten casi todas de una catástrofe, el choque o el paso muy cercano de dos estrellas. Hoy en día estas teorías están en total desuso porque se considera que tanto el choque de dos estrellas como un acercamiento importante entre las mismas es altamente improbable.

En el siglo XVIII, Buffon sugirió que el origen del sistema solar se debía al choque de una estrella con el Sol: el desprendimiento de material producido en esa gran colisión habría originado los planetas.

Ya en el siglo XX, Hoyle pensó que el Sol podría haber sido la estrella binaria de otra, y así el origen del sistema solar se explicaría por la explosión de esa imaginaria estrella; el material de la misma habría originado los planetas.

### Las teorías nebulares

Entre los años 1940 y 1950, los científicos Weizsäcker y Kuiper propusieron la denominada teoría planetesimal, denominada así porque en ella, las partículas de la primitiva nube o nebulosa reciben el nombre de planetésimos o fragmentos de planetas.

Esta teoría relata la formación del sistema solar de la siguiente manera:

Hace unos 5.000 millones de años, una nebulosa comenzó a contraerse y a originar contracciones de materia o glóbulos. Los choques que se produjeron entre los átomos de hidrógeno, en el centro de la nebulosa, dieron lugar a reacciones nucleares, las cuales originaron una enorme cantidad de energía: es el comienzo del Sol.

La radiación del Sol, situado en el centro de la nebulosa, propició la vaporización del resto de ésta.

El giro de la nebulosa formó un disco aplanado. La nebulosa fue enfriándose, condensándose en partículas de pequeño tamaño (planetésimos) y después en planetoides más grandes.

Los elementos ligeros se condensaron en las zonas más frías, que estaban en el exterior del disco y que dieron lugar a los planetas exteriores ( Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón).

Los planetas interiores o terrestres (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) se calentaron debido a los choques de los planetésimos, se fundieron y se diferenciaron por densidades. Así se originaron un núcleo metálico, una envoltura de rocas y una atmósfera. Posteriormente los planetas se enfriaron.

Los planetas que se iban diferenciando por densidades iban creando una atmósfera con los gases liberados, que sólo era retenida en aquellos planetas que tenían una gravedad importante.

### • **Las características de los planetas.**

Tres grupos de componentes forman el sistema solar: metales (hierro principalmente), rocas de materiales silicatados (minerales formados por la combinación de silicio y oxígeno con otros elementos químicos) y elementos ligeros, principalmente hidrógeno y helio.

Los tres primeros planetas, Mercurio, Venus y tierra, son los de más alta densidad y tienen por tanto, un alto contenido en hierro y rocas silicatadas.

#### Mercurio

- Presenta gran cantidad de cráteres de impacto, semejantes a los de la Luna, algunos de gran tamaño.
- También posee grandes llanuras, interpretadas como superficies de lava formadas por emisiones volcánicas.
- Tiene un campo magnético semejante al de la tierra, aunque de muy poca intensidad.
- No tiene una verdadera atmósfera.
- Posee un casquete de hielo en su polo norte.

#### Venus

- Su atmósfera está formada mayoritariamente por CO<sub>2</sub>
- La existencia de CO<sub>2</sub> crea un enorme efecto invernadero: penetra poca luz del Sol, y a la que penetra le resulta muy difícil salir. Por ello se alcanza temperaturas superficiales de alrededor de 500 °C.
- Posee un tipo de estructura topográfica especial. Consiste en grandes relieves circulares, con el centro elevado, cuyas dimensiones abarcan desde unos cientos hasta unos pocos miles de kilómetros. Existen también zonas volcánicas parecidas a las terrestres y zonas de intensa fracturación.

#### Marte

- Su atmósfera está compuesta en un 96% por CO<sub>2</sub> y en el 5% restante por nitrógeno y helio.
- Se le conoce como el planeta rojo, debido a la gran suspensión de polvo de óxido de hierro que tiene en su atmósfera.
- Presenta grandes cambios de temperatura, lo que hace que tenga una atmósfera muy dinámica con grandes vientos de más de 100 km/h y fuertes tormentas que afectan a todo el planeta.
- Tiene agua, aunque localizada fundamentalmente en sus dos casquetes polares.
- El hemisferio sur está lleno de cráteres, mientras que el norte prácticamente carece de ellos.
- Se reconocen diferentes estructuras geológicas, tales como: campos de dunas, cráteres de impacto, cuencas de impacto, volcanes (muy numerosos), fosas tectónicas y canales situados en la zona norte del planeta, causados al parecer por agua líquida.

## Júpiter

- Tiene el 75% de la mas total de los planetas, aunque su densidad es baja.
- La mayor parte del planeta está formado por gases. El hidrógeno representa el 81%, el helio el 18% y el resto lo componen amoníaco y metano principalmente.
- Como el hidrógeno y el helio son transparentes, lo que vemos de Júpiter son nubes de amoníaco y metano.
- Su parte sólida se localiza en el núcleo del planeta; puede estar formado por silicatos.
- Con esta composición, los conceptos geológicos, tal como los manejamos en la Tierra, no son aplicables a Júpiter ni al resto de los planetas exteriores.
- La fuerte rotación del planeta hace que su atmósfera gire muy deprisa y que se formen bandas de nubes paralelas al ecuador.
- Júpiter emite mucha más energía que la que recibe del Sol.
- Tiene 16 satélites. Lo que le hace parecerse a un pequeño sistema solar.

## Saturno

- Lo que más destaca son sus miles de anillos formados por partículas de hielo de tamaños variables que van desde unos metros hasta unos milímetros.
- Tiene 17 satélites.

## Urano

- Una de sus principales características es que su eje de giro está inclinado 98° con respecto al plano de rotación.
- Su capa gaseosa está compuesta por hidrógeno, helio, amoníaco y metano. Su superficie es muy homogénea.
- Tiene 9 anillos y 15 satélites.
- Se cree que está formado por tres envolturas: el núcleo formado elementos rocosos, una intermedia acuosa, y la atmósfera, mencionada anteriormente.

## Neptuno

- Es un planeta parecido a Júpiter.
- Tiene 8 satélites
- Su atmósfera presenta grandes remolinos que giran a distintas velocidades.
- Tiene 5 anillos parecidos a los de Saturno.

## Plutón

- Su tamaño es pequeño, equivalente a la mitad del tamaño de la Luna.
- Su superficie está formada por metano helado.

### • **Otros cuerpos planetarios.**

## Asteroides.

Son cuerpos celestes. El grupo más importante se sitúa entre Marte y Júpiter, en una zona denominada cinturón de asteroides.

## Meteoritos

Son fragmentos rocosos que caen a la Tierra. La mayoría de ellos procede del cinturón de asteroides. Posiblemente el choque entre asteroides provocan que los fragmentos liberados se sitúen en órbitas inestables e impacten contra la Tierra y otro planeta. Muchos son muy pequeños y se vaporizan al penetrar en la atmósfera, dejando sólo una ligera estela luminosa: son las estrellas fugaces.

Los meteoritos tienen una gran importancia, tanto para el estudio del sistema solar como para el estudio del interior de la Tierra, ya que tienen una edad de 4.500 millones de años, que es el momento en el que se supone que se originó el sistema solar.

### Cometas

Los cometas son objetos que se desplazan en el sistema solar en órbitas muy alargadas. Están formados por núcleo, cabeza y cola. El núcleo está formado por componentes gaseosos helados y rocas. La cabeza y la cola están compuestas por gas y polvo. La cola aparece cuando el cometa se aproxima al Sol. Su brillo tan intenso se debe a la fluorescencia que tienen la cabeza y la cola.

#### • **La formación de la Tierra y su diferenciación por capas.**

- Existe una teoría denominada acreción heterogénea que sostiene que primero se formó el núcleo, a partir de materia densa y rica en hierro, y que posteriormente se fueron agregando materiales silicatados.
- Otra hipótesis supone que los materiales y planetésimos que impactaron para formar la Tierra eran de naturaleza diversa: unos ricos en hierro y otros en silicatos. La diferenciación entre el núcleo y el manto fue posterior a la formación, ya que la mayor densidad de los materiales ricos en hierro hizo que estos se concentraran en el núcleo. Esta solución se conoce como acreción homogénea.

Ambas teorías consideran que la corteza tiene un origen posterior, formada a partir de la solidificación de materiales volcánicos debido a la disminución de las temperaturas.

#### • **Composición y origen de la atmósfera y la hidrosfera.**

### La atmósfera

Es la envuelta gaseosa que rodea la Tierra.

- El principal componente de la atmósfera es el nitrógeno (75,51%). Es inerte y se le considera un relleno atmosférico.
- El oxígeno (23,14%), por el contrario es un gas muy activo y se convierte fácilmente en otros elementos por la oxidación mediante la meteorización de las rocas.
- El argón (1,28%), uno de los gases nobles, es inerte. Es desprendido a la atmósfera por los volcanes.
- La cantidad de vapor de agua es pequeña y depende de la temperatura del aire.
- Entre el resto de los componentes destaca el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que representa en la actualidad unas 340 partes por millón del aire seco.
- Otros gases nobles se encuentran aún en cantidades menores.

Estructura de la atmósfera según los cambios de temperatura que presenta en su zonación vertical:

- La Troposfera es la capa que está en contacto con la superficie de la tierra y se caracteriza por una disminución paulatina de la temperatura en altitud hasta alcanzar los -46 °C a una altura de 8 Km. en los polos y -80 °C a una altura de 16 Km. en el ecuador. El límite de la troposfera se denomina

tropopausa.

- A partir de la tropopausa comienza la estratosfera, en la que la temperatura empieza a aumentar. Esta capa se extiende hasta los 50 Km. de altitud y se caracteriza por no presentar movimientos de los gases. En ella se localiza la capa de ozono. El final de la estratosfera se denomina estratopausa.
- La mesosfera se caracteriza por una fuerte disminución de la temperatura que alcanza los  $-100^{\circ}\text{C}$  a una altura de 80 Km. (mesopausa).
- La termosfera (también llamada ionosfera) porque los gases se presentan ionizados debido a la radiación ultravioleta. La termosfera alcanza a 800 Km. temperaturas superiores a los  $1.000^{\circ}\text{C}$ .

## **La hidrosfera**

Se define como la capa fluida que se encuentra en la superficie de la Tierra. No es propiamente una envuelta como lo puede ser la atmósfera, sino que se distribuye de manera irregular por la superficie de la tierra.

Un 35% de la hidrosfera contiene sales como consecuencia de la acumulación durante millones de años de los materiales en disolución que los ríos han aportado. La evaporación ha ido concentrando las sales. Además hay que tener en cuenta el continuo aporte de las emanaciones volcánicas submarinas.

Mientras que la superficie terrestre estuvo a temperaturas altas, el agua se mantenía en estado de vapor. La disminución de temperatura propició que comenzaran las precipitaciones y así empezó el ciclo del

### **• Métodos de estudio.**

- Observaciones directas de los materiales de la tierra. Se obtiene una información muy limitada. Las rocas extraídas son comparables a las que afloran en la superficie de la tierra.
- **Estudio de minas:** 2.000 m de profundidad.
- **Sondeos:** 7.000 m de profundidad.
- Observaciones indirectas. Aportan más datos sobre el interior de la Tierra.
- **Erosión de las montañas** que hace aflorar rocas que fueron originadas en profundidad.
- **Lavas emitidas por los volcanes**, que están formadas por materiales originados a profundidades de hasta 100 km.
- **Meteoritos caídos sobre la Tierra**, que se consideran como partes del interior de otros planetas.
- Otras características de la Tierra que también sirven para investigar su estructura:
- La **densidad de la Tierra**, que va aumentando desde la superficie desde  $2,8\text{ g/cm}^3$  hasta el interior donde alcanza los  $14\text{ g/cm}^3$ .
- La **presión**, que varía desde unas pocas atmósferas en superficie a más de 3.000.000 en el centro de la Tierra (datos teóricos deducidos por métodos indirectos).
- **Cálculo de la temperatura** del interior de la Tierra. En superficie el grado geotérmico es de un grado por cada 33 m de profundidad, aunque este aumento no puede continuar hacia el interior, pues se alcanzarían temperaturas que harían que la tierra fuera inestable.
- Valores que tiene la **gravedad terrestre en distintos puntos del planeta**. Se demuestra que en las montañas el valor de la gravedad es menor que en las llanuras al ser el ancho de la corteza (la capa menos densa) mayor.
- El **estudio del magnetismo** indica que en el núcleo se diferencian dos capas: un núcleo interno sólido y un núcleo externo fluido.
- El estudio por medio de **las ondas sísmicas** aporta los datos más completos sobre la estructura y composición de la Tierra.

### **• Estudio del interior de la Tierra por medio de las ondas sísmicas.**

Los terremotos son movimientos bruscos debidos a la rotura y el desplazamiento de rocas de la corteza profunda o del manto superior, como consecuencia del movimiento de las placas litosféricas. Suelen producirse a una profundidad de unos 50 km.

- **Registro de las ondas sísmicas.**

– Los sismógrafos son los aparatos encargados de registrar las ondas sísmicas.

– Existen tres grandes tipos de ondas sísmicas:

- **Ondas P:** Son las más rápidas. Vibran en la misma dirección que la dirección de propagación. También se denominan ondas primarias o principales
- **Ondas S:** Son más lentas que las P. Vibran perpendicularmente a la dirección de propagación. No atraviesan fluidos. También se denominan ondas secundarias.
- **Ondas superficiales:** son las que al llegar a la superficie causan las catástrofes. Hay dos tipos de ondas superficiales:
  - Ondas R (Rayleigh) hacen subir y bajar las partículas del sustrato en un movimiento circular, produciendo un desplazamiento hacia delante y hacia atrás.
  - Ondas L (Love) dan lugar a un movimiento lateral, perpendicular a la dirección de propagación.

- **Características de las ondas sísmicas.**

- Cuanto mayor es la densidad del material atravesado, menor es la velocidad de las ondas, y cuanto mayor es su rigidez, mayor es su velocidad.
- Las ondas S no se propagan en fluidos.
- Las curvas P y S tienen una trayectoria curva en determinadas zonas de la tierra y se refractan al cambiar de un medio a otro con características muy diferentes (por ejemplo del manto al núcleo).

- **Las discontinuidades.**

Del estudio de las ondas sísmicas se deduce que la Tierra tiene una estructura en capas. Cada variación brusca en la velocidad de propagación de las ondas indica que éstas entran en un nuevo tipo de material o en un material con un estado de viscosidad distinto. A estas variaciones bruscas se las denomina discontinuidades.

- La primera se sitúa a 10 km en los océanos y a 30–40 km bajo los continentes, separa la corteza del manto, y se denomina discontinuidad de Mohorovic.
- La segunda se localiza a unos 670 km de profundidad, se denomina discontinuidad de Repetti y marca la transición entre manto superior y el inferior.
- La tercera se localiza a 2.900 km y se denomina discontinuidad de Gutenberg. Separa el manto del núcleo.
- La cuarta discontinuidad se produce a los 5.100 km y se denomina discontinuidad de Wiechert–Lheman.

- **Divisiones de la Tierra.**

Se pueden considerar dos criterios para subdividir el planeta en capas:

- **Divisiones geoquímicas.** El 92% de la tierra está compuesta por:
  - Hierro (34,6%).
  - Oxígeno (29,2%).
  - Silicio (15,2%).
  - Magnesio (15,2%)

Estos elementos químicos se combinan formando minerales y se distribuyen en tres grandes capas:

- **Corteza.** Es la capa más externa y tiene entre 8 y 70 km de espesor. En ella se concentran los elementos más ligeros.
- **Manto.** Ocupa la mayor masa de la Tierra y llega hasta los 2.900 km de profundidad. El porcentaje de elementos pesados es más alto que en la corteza.
- **Núcleo.** Ocupa el centro de la tierra. En él se localiza el porcentaje más alto de elementos densos, como el hierro.
- **Divisiones dinámicas:** Según el comportamiento que tienen los materiales ante las deformaciones. Bajo este criterio se distinguen cuatro capas:
- **Litosfera.** Es la capa exterior, de naturaleza rígida y quebradiza. Su espesor medio calculado es de 100 km. Está formada por la corteza y la parte superior del manto.
- **Astenosfera.** Tiene un espesor medio de 200 km. Constituye la parte inferior del manto superior. También se la denomina canal de baja velocidad ya que en ella la velocidad de las ondas sísmicas desciende bruscamente.
- **Mesosfera.** Coincide con el resto del manto.
- **Endosfera.** Coincide con el núcleo.

- **Estructura y naturaleza físico-química del interior de la Tierra.**

Hay dos tipos básicos de corteza: la corteza oceánica y la corteza continental.

- **La corteza oceánica.**

- Tiene un espesor mucho menor que la corteza continental; sobrepasa los 12 km.
- Su zona más externa está formada por sedimentos.
- Debajo de esta primera zona se encuentra una capa de rocas volcánicas de composición basáltica, originada por el enfriamiento de la parte fundida del manto al ser emitida a la superficie en forma de lavas.
- La zona más profunda de la corteza oceánica está formada por gabros, rocas que han sufrido un enfriamiento lento en el interior de la tierra y que debido a ello, presentan todo el volumen de la roca formado por cristales.
- La corteza oceánica es joven comparada con la corteza continental.

- **La corteza continental**

- Constituye los continentes y las plataformas continentales (que son sus bordes sumergidos).
- A diferencia de la oceánica, la continental es muy antigua, puede tener hasta 4.000 millones de años.
- Se distinguen tres zonas distintas:
- **Zona superficial:** Rocas sedimentarias plegadas (o no).
- **Zona intermedia:** Rocas metamórficas de intensidad media junto con plutones (granitos).
- **Zona profunda:** Rocas metamórficas de alto grado de intensidad de presión y de temperatura junto con intrusiones básicas.

- **El manto.**

- Para su estudio existen menos evidencias que para el estudio de la corteza.
- Llega a los 2.900 km de profundidad.
- Está formado por rocas ultrabásicas, que son rocas pobres en sílice y ricas en olivino y piroxenos.
- Una de sus características más importantes es su dinámica de convección que hace que se produzcan corrientes que equilibran el calor interno con el superficial.

- **El núcleo.**

- El núcleo externo es líquido.
- Su temperatura puede ser de unos 4.000 a 5.000 °C.
- El núcleo genera un campo magnético que ha quedado registrado en las rocas desde hace unos 3.500 millones de años.
- Se supone que debe estar compuesto mayoritariamente por hierro

agua.

- **El origen de las montañas. Contraccionistas y movilistas.**

Hasta la década de los 60, cuando empieza a conocerse mejor el fondo de los océanos y a interpretarse los datos del magnetismo terrestre, la comunidad científica se debatía entre dos corrientes de pensamiento: la de los contraccionistas y la de los movilistas.

- Los contraccionistas se basaban en la teoría del geosinclinal, que eran una especie de surcos estrechos, pero de muchos kilómetros de longitud, en los que se iban acumulando a lo largo del tiempo cantidades ingentes de sedimentos, que las fuerzas de compresión horizontales (contracción) plegaban elevándose y formando las cadenas de montañas. Sin embargo, la idea de que la Tierra se contraía como consecuencia de su enfriamiento fue perdiendo peso poco a poco, al descubrirse la radiactividad terrestre y por tanto la posibilidad de que existiera una fuente para el mantenimiento del calor del interior del planeta.
- Los movilistas se basaban en la antigua idea del desplazamiento de los continentes, aunque la principal dificultad que tenían para que sus ideas fueran aceptadas radicaba en que no aportaban suficientes datos concretos para justificar la movilidad de las masas terrestres. Pero en 1911 Wegener, un meteorólogo alemán, planteó con gran abundancia de argumentos y datos la idea de que los continentes no habían permanecido fijos, sino que se habían movido en el transcurso de los tiempos geológicos.

La teoría de Wegener conocida como la deriva continental, describía cómo un gran continente primitivo, al que denominó Pangea, se fracturó en numerosos continentes más pequeños. Estos continentes, en su desplazamiento a lo largo del tiempo, originaron las masas de tierra y las montañas actuales.

- **La teoría de la tectónica de placas.**

Según la teoría que propuso Wilson en 1965, la Tierra se divide, como un rompecabezas, en una serie de compartimentos rígidos denominados placas litosféricas. Las placas están separadas por una red de cinturones sísmicos y volcánicos, cadenas montañosas submarinas y archipiélagos de islas volcánicas dispuestas en arco, que recorren toda la superficie terrestre.

En la actualidad se acepta que la Tierra está dividida en 12 placas de tamaño variable.

Hay placas exclusivamente oceánicas, aunque lo común es que tengan una parte formada por litosfera continental (el continente y la plataforma continental) y otra formada por litosfera oceánica.

**Relación entre placas.**

Las placas pueden separarse, chocar o deslizarse lateralmente entre sí. Las zonas en que sucede esto se denominan respectivamente: dorsales oceánicas, zonas de subducción y fallas transformantes.

Con relación a esto, entre placa y placa se pueden reconocer tres tipos de límites o bordes:



- Bordes constructivos o dorsales oceánicas: Son las zonas en las que se crea constantemente litosfera oceánica. Están situados normalmente en el centro de los océanos.

El material sale del interior

Las placas se separan

- Bordes destructivos: Son las zonas en las que se destruyen las placas, al penetrar la litosfera oceánica debajo de la continental en la llamada zona de subducción. Se sitúan generalmente cerca de los bordes continentales. También se produce subducción cuando convergen dos placas oceánicas.

Las placas chocan entre sí y una de ellas se hunde bajo la otra.

El material se funde en el interior

- Bordes pasivos: Son los límites de placa en los que ni se crea ni se destruye la litosfera. Son los bordes que permiten el movimiento relativo de las placas a través de unas líneas de rotura denominadas fallas transformantes.

Rocas paralelos

- **Pruebas de la tectónica de placas.**
- **Coincidencia de líneas de costa.**

Cuando se ajustan los continentes a las líneas que delimitan la plataforma continental, a unos 2.000 m de profundidad bajo el nivel del mar, se puede comprobar que la coincidencia de las masas continentales es muy grande.

- **Coincidencia de formaciones rocosas en continentes lejanos.**

La coincidencia corresponde a rocas que tienen más de 100 millones de años, tiempo en el que comenzó la separación del primitivo continente único (Pangea).

- **Continuidad de las cadenas alpinas y separación de las cadenas hercínicas.**

Las cadenas montañosas más recientes, denominadas cadenas alpinas, se originaron hace unos 25–30 millones de años. Se comprueba que la distribución de estas a lo largo de la Tierra no se interrumpe en ningún momento. Sin embargo otras cadenas montañosas más antiguas, originadas durante el plegamiento hercínico, hace unos 300 millones de años, presentan grandes interrupciones y solamente se puede apreciar su continuidad si se unen los continentes.

- **Pruebas paleontológicas.**

Aunque las faunas actuales de diversos continentes no se parecen en nada, las faunas fósiles presentan especies en común, por lo que cabe pensar que los continentes debieron separarse en un momento determinado, lo que dio lugar a que la evolución las hiciera diferentes.

La única posibilidad de que se encuentren fósiles de la misma especie en lugares tan alejados entre sí es que dichos lugares estuvieran unidos en aquella época y constituyeran el hábitat continuo del animal.

- **Pruebas paleoclimáticas.**

Durante el Carbonífero, hace unos 300 millones de años, se produjo una gran glaciación, cuya existencia se ha identificado por los depósitos que dejaron los antiguos glaciares. Estos depósitos, denominados morrenas, aparecen como una acumulación de rocas de distintos tamaños y muy poco o nada redondeados. El roce de la morrena del fondo del glaciar provocó unas marcas grabadas en las rocas duras, estos surcos se denominan estrías glaciares. A partir de estos restos de la glaciación carbonífera y de las direcciones de las estrías en los continentes actuales, se puede reconstruir el modo en el que estaban agrupados los continentes de aquella época.

- **Paleomagnetismo y movimiento de los continentes**

Cuando los volcanes arrojan los materiales magmáticos del interior de la Tierra, los minerales, sobre todo los de hierro, se orientan según el campo magnético.

Cuando la lava se enfría, los minerales de hierro quedan orientados según la posición del polo magnético del momento. La latitud en la que están, así como la orientación magnética que tienen permiten determinar la dirección del campo magnético terrestre en el momento de su magnetización.

Se ha comprobado que este campo magnético ha variado a lo largo del tiempo. Esta característica del magnetismo terrestre ha quedado impresa en las lavas del fondo marino. Así, se originan bandas de distinta anchura, paralelas al eje de la dorsal, formadas por minerales orientados alternativamente. Estas bandas, llamadas anomalías magnéticas, son sin duda una de las pruebas más importantes que demuestran el crecimiento de la corteza oceánica a partir de las dorsales.

Esta característica magnética también prueba que los continentes se han movido, dado que las rocas magnetizadas de otras épocas tienen orientaciones distintas a las actuales. Incluso puede reconstruirse el desplazamiento seguido por los continentes en los últimos tiempos geológicos, a partir de los datos que nos proporciona el magnetismo antiguo (**paleomagnetismo**).

- **Distribución global de volcanes y terremotos**

Los terremotos y volcanes se distribuyen en la Tierra en bandas muy definidas. Tal distribución coincide plenamente con los límites de las placas, especialmente con los bordes que subducen. El rozamiento de la placa que subduce provoca un aumento de temperatura, de tal manera que se originan rocas fundidas que ascienden a la superficie de la tierra y dan origen a los volcanes.

- **Medida del desplazamiento de los continentes**

Se ha comprobado que los continentes se separan unos de otros a velocidades distintas en cada caso, pero del orden de varios centímetros/año. Se emplean satélites artificiales que realizan la medición mediante rayos láser.

- **Prueba biológica-ecológica**

Hace 130 o 140 millones de años, el Mar de los Sargazos era una zona pantanosa situada entre las actuales América y Europa. Allí desovaban las anguilas (tanto las europeas como las americanas). Actualmente siguen desovando allí aunque para ello tengan que recorrer miles de kilómetros en algunos casos, ya que tienen sus genes programados biológicamente para ir a ese lugar a desovar.

- **Origen del movimiento de las placas.**

El desplazamiento de las placas se debe seguramente a la liberación del calor de la Tierra. Las zonas calientes del interior de la Tierra evacúan el calor hacia el exterior, y a su vez, las zonas frías de la corteza se introducen

en el manto, quizás de manera similar a la convección que se produce en los fluidos al calentarlos.

De esta manera se produce un movimiento de rocas plásticas del manto, que parece ser el causante del desplazamiento de las placas.

Unos científicos creen que sólo hay un sistema de circulación en el manto, mientras que otros creen que de ser así la Tierra se enfriaría muy rápidamente, por lo que piensan que debe existir un doble circuito de convección para que la Tierra pierda más lentamente su calor.

Otras teorías afirman que al subducir la el borde de la placa, arrastra tras de sí a la totalidad de la placa, debido a su peso.

- **Origen y evolución del fondo oceánico.**

- La mayor parte del fondo oceánico, sin considerar las plataformas continentales, se ha originado como consecuencia de la fracturación de las placas litosféricas y su separación.
- El fondo oceánico se crea en las zonas de las dorsales oceánicas y se destruye en las zonas de subducción.
- Cerca de los continentes encontramos las rocas más antiguas del fondo del mar; esta edad de las rocas disminuye a medida que nos acercamos a la dorsal oceánica, donde sólo encontramos rocas volcánicas.

- **Los bordes constructivos.**

En las dorsales (límites de placas donde se produce una separación), el hueco que dejan las placas al separarse es rellenado continuamente por material volcánico procedente del manto. Este material es el que forma la corteza oceánica y es quien provoca la expansión del fondo oceánico y el movimiento de los continentes.

Las dorsales son cadenas montañosas submarinas de perfil muy agreste y con una longitud de miles de kilómetros.

En el centro de muchas dorsales existe una gran depresión que las recorre, conocida como fosa tectónica o rift. El valle de rift se presenta como una serie de zonas hundidas escalonadas, resultado de un sistema de fallas. En el centro de este valle, la actividad volcánica es constante. Sobre estos fondos de la va no existe ningún sedimento, lo que demuestra que no ha habido tiempo de que nada se deposite sobre ellos. Junto a las lavas encontramos abundantes chimeneas volcánicas que emiten fluidos a altas temperaturas.

Tocas estas observaciones indican que las dorsales son las zonas de crecimiento de la corteza oceánica, por lo que se les denomina bordes constructivos.

Ejemplos típicos son Islandia o la zona del Rift africano.

- **Los bordes pasivos.**

Las dorsales no presentan continuidad a lo largo de su eje de cimas. Están rotas o interrumpidas constantemente por unas líneas de fractura perpendiculares al eje, que se denominan fallas transformantes.

En ellas, la actividad sísmica y volcánica es importante. Estrictamente, se considera falla transformante a la línea de ruptura que una las dorsales.

Un ejemplo típico es la falla de San Andrés en California (USA).

- **Los bordes destructivos.**

Los bordes destructivos coinciden con las zonas más profundas del océano (fosas oceánicas submarinas).

La placa oceánica tiene mayor densidad que los bordes continentales y al chocar con ellos, la litosfera oceánica penetra hacia la astenosfera.

La introducción hacia el interior de la Tierra permite que la placa se funda debido al aumento de la temperatura que se produce con la profundidad. De este modo, la placa litosférica, que se ha creado en la dorsal, se recicla en estas zonas, a las que se ha denominado zonas de subducción.

En los bordes destructivos se originan grandes relieves, como las Montañas Rocosas y los Andes.

Además, es en los bordes destructivos donde se originan la mayor parte de los terremotos y de los volcanes de la Tierra.

**Tipos de convergencia entre placas (Tipos de orógenos).**

Los choques entre placas originan la elevación de cadenas montañosas u orógenos. Existen tres posibilidades de choque:

- **Orógenos de colisión:** son el resultado del choque y la subducción de dos bordes de placa continentales, cuyo resultado es la elevación del orógeno (Ej. la cordillera del Himalaya).
- **Arcos de islas:** Se forman cuando una placa oceánica subduce bajo otra también oceánica. Esta subducción origina un vulcanismo muy intenso que da lugar a islas volcánicas dispuestas en forma arqueada (Ej. archipiélago de Japón).
- **Orógenos de tipo andino:** Son los formados en un borde continental, cuando bajo él subduce una corteza oceánica.

- **Los Pirineos: un ejemplo de orógeno de colisión.**

----- NO ENTRA EN EL TEMARIO -----

- **El interior de las placas.**

Ciertas estructuras geológicas que se originan en el interior de las placas, a veces, muy lejos de los bordes, son difícilmente explicables por la teoría de la tectónica de placas. El ejemplo más característico es la existencia de islas oceánicas alineadas.

**Teoría del punto caliente**

Propone la existencia de una zona especialmente caliente en el interior de la Tierra, situada a gran profundidad, que envía materiales fundidos a la superficie, los cuales dan origen a volcanes y a islas volcánicas.

Al moverse la placa y permanecer el punto caliente fijo, las islas y los montes submarinos se van originando alineados. Las islas más antiguas que ya están lejos del punto caliente no tienen volcanes en actividad, mientras que las más jóvenes, las que se sitúan justo encima de este, presentan un vulcanismo activo.

- **Los terremotos.**

Las dorsales al crear nueva corteza, provocan un movimiento constante de las placas. Cuando llega a los

bordes de subducción, dicho movimiento constante se transforma en discontinuo (como cuando movemos algo a tirones). La liberación no continua de energía que se produce al introducirse la placa hacia el manto provoca los terremotos.

Un terremoto se inicia en el interior de la corteza, en un punto denominado **foco** o **hipocentro**, y se transmite posteriormente a la superficie de la Tierra. El punto de la superficie más cercano al foco, que es el que se encuentra en su vertical, se denomina **epicentro**.

- La **magnitud** es la medida de la energía liberada. Es un valor absoluto y se obtiene a partir de las ondas registradas en los sismógrafos. Para su medición se utiliza la **escala de Richter**.
- La **intensidad** es una medida subjetiva. Mide los efectos que ha causado el terremoto. Viene dada por la **escala de Mercalli**.

### **Los precursores sísmicos. La prevención de los terremotos.**

La acumulación de energía debida al movimiento de las placas produce unas pequeñas variaciones en las características locales del terreno. Estas variaciones se denominan indicios precursores del seísmo. Algunos de ellos son:

- Elevación del terreno.
- Cambios en la transmisión de corriente eléctrica en el terreno.
- Cambios en el campo magnético de la zona.
- Aumento de radón (gas radiactivo producido en los pozos).
- Aumento de la cantidad de microseísmos locales.

Sin embargo, la predicción sísmica actual está llena de fracasos. Aún no se cuenta con una metodología precisa para la detección.

#### **• Los volcanes.**

El vulcanismo también está relacionado con los bordes de las placas litosféricas, aunque puede producirse en su interior.

En la península, la actividad volcánica no existe, si bien quedan restos de un vulcanismo geológicamente reciente. En las Islas Canarias han existido erupciones hasta hace muy pocos años (la última en la isla de La Palma en 1971, en el volcán Teneguía).

La peligrosidad de una erupción está relacionada con su explosividad; cuanto más alta sea la viscosidad de una lava, más alta es su explosividad.

### **Riesgo volcánico y vigilancia.**

La explosividad de un magma depende de la viscosidad del mismo y de su contenido en gases.

Si el magma es viscoso y muy rico en gases, explota violentamente, lanzando al aire fragmentos de magma líquido y rocas arrancadas del conducto por el que sale al exterior.

Hay dos tipos de erupciones volcánicas:

- **Efusivas:** liberan los materiales que se deslizan por las paredes del volcán (**coladas**), que no son peligrosas para las personas, dada su baja velocidad.
- **Explosivas:** son mucho más peligrosas, pudiendo producir nubes ardientes (que se desplazan a 100

km/h hacia la base del volcán) o lluvia de cenizas y materiales finos denominado **lapilli**.

- **El origen de las montañas. Contraccionistas y movilistas.**

Hasta la década de los 60, cuando empieza a conocerse mejor el fondo de los océanos y a interpretarse los datos del magnetismo terrestre, la comunidad científica se debatía entre dos corrientes de pensamiento: la de los contraccionistas y la de los movilistas.

- Los contraccionistas se basaban en la teoría del geosinclinal, que eran una especie de surcos estrechos, pero de muchos kilómetros de longitud, en los que se iban acumulando a lo largo del tiempo cantidades ingentes de sedimentos, que las fuerzas de compresión horizontales (contracción) plegaban elevándose y formando las cadenas de montañas. Sin embargo, la idea de que la Tierra se contraía como consecuencia de su enfriamiento fue perdiendo peso poco a poco, al descubrirse la radiactividad terrestre y por tanto la posibilidad de que existiera una fuente para el mantenimiento del calor del interior del planeta.
- Los movilistas se basaban en la antigua idea del desplazamiento de los continentes, aunque la principal dificultad que tenían para que sus ideas fueran aceptadas radicaba en que no aportaban suficientes datos concretos para justificar la movilidad de las masas terrestres. Pero en 1911 Wegener, un meteorólogo alemán, planteó con gran abundancia de argumentos y datos la idea de que los continentes no habían permanecido fijos, sino que se habían movido en el transcurso de los tiempos geológicos.

La teoría de Wegener conocida como la deriva continental, describía cómo un gran continente primitivo, al que denominó Pangea, se fracturó en numerosos continentes más pequeños. Estos continentes, en su desplazamiento a lo largo del tiempo, originaron las masas de tierra y las montañas actuales.

- **La teoría de la tectónica de placas.**

Según la teoría que propuso Wilson en 1965, la Tierra se divide, como un rompecabezas, en una serie de compartimentos rígidos denominados placas litosféricas. Las placas están separadas por una red de cinturones sísmicos y volcánicos, cadenas montañosas submarinas y archipiélagos de islas volcánicas dispuestas en arco, que recorren toda la superficie terrestre.

En la actualidad se acepta que la Tierra está dividida en 12 placas de tamaño variable.

Hay placas exclusivamente oceánicas, aunque lo común es que tengan una parte formada por litosfera continental (el continente y la plataforma continental) y otra formada por litosfera oceánica.

**Relación entre placas.**

Las placas pueden separarse, chocar o deslizarse lateralmente entre sí. Las zonas en que sucede esto se denominan respectivamente: dorsales oceánicas, zonas de subducción y fallas transformantes.

Con relación a esto, entre placa y placa se pueden reconocer tres tipos de límites o bordes:

- Bordes constructivos o dorsales oceánicas: Son las zonas en las que se crea constantemente litosfera oceánica. Están situados normalmente en el centro de los océanos.

El material sale del interior

Las placas se separan

- **Bordes destructivos:** Son las zonas en las que se destruyen las placas, al penetrar la litosfera oceánica debajo de la continental en la llamada zona de subducción. Se sitúan generalmente cerca de los bordes continentales. También se produce subducción cuando convergen dos placas oceánicas.

Las placas chocan entre sí y una de ellas se hunde bajo la otra.

El material se funde en el interior

- **Bordes pasivos:** Son los límites de placa en los que ni se crea ni se destruye la litosfera. Son los bordes que permiten el movimiento relativo de las placas a través de unas líneas de rotura denominadas fallas transformantes.

Rocas paralelos

- **Pruebas de la tectónica de placas.**
- **Coincidencia de líneas de costa.**

Cuando se ajustan los continentes a las líneas que delimitan la plataforma continental, a unos 2.000 m de profundidad bajo el nivel del mar, se puede comprobar que la coincidencia de las masas continentales es muy grande.

- **Coincidencia de formaciones rocosas en continentes lejanos.**

La coincidencia corresponde a rocas que tienen más de 100 millones de años, tiempo en el que comenzó la separación del primitivo continente único (Pangea).

- **Continuidad de las cadenas alpinas y separación de las cadenas hercínicas.**

Las cadenas montañosas más recientes, denominadas cadenas alpínicas, se originaron hace unos 25–30 millones de años. Se comprueba que la distribución de estas a lo largo de la Tierra no se interrumpe en ningún momento. Sin embargo otras cadenas montañosas más antiguas, originadas durante el plegamiento hercínico, hace unos 300 millones de años, presentan grandes interrupciones y solamente se puede apreciar su continuidad si se unen los continentes.

- **Pruebas paleontológicas.**

Aunque las faunas actuales de diversos continentes no se parecen en nada, las faunas fósiles presentan especies en común, por lo que cabe pensar que los continentes debieron separarse en un momento determinado, lo que dio lugar a que la evolución las hiciera diferentes.

La única posibilidad de que se encuentren fósiles de la misma especie en lugares tan alejados entre sí es que dichos lugares estuvieran unidos en aquella época y constituyeran el hábitat continuo del animal.

- **Pruebas paleoclimáticas.**

Durante el Carbonífero, hace unos 300 millones de años, se produjo una gran glaciación, cuya existencia se ha identificado por los depósitos que dejaron los antiguos glaciares. Estos depósitos, denominados morrenas, aparecen como una acumulación de rocas de distintos tamaños y muy poco o nada redondeados. El roce de la morrena del fondo del glaciar provocó unas marcas grabadas en las rocas duras, estos surcos se denominan estrías glaciares. A partir de estos restos de la glaciación carbonífera y de las direcciones de las estrías en los continentes actuales, se puede reconstruir el modo en el que estaban agrupados los continentes de aquella época.

- **Paleomagnetismo y movimiento de los continentes**

Cuando los volcanes arrojan los materiales magmáticos del interior de la Tierra, los minerales, sobre todo los de hierro, se orientan según el campo magnético.

Cuando la lava se enfría, los minerales de hierro quedan orientados según la posición del polo magnético del momento. La latitud en la que están, así como la orientación magnética que tienen permiten determinar la dirección del campo magnético terrestre en el momento de su magnetización.

Se ha comprobado que este campo magnético ha variado a lo largo del tiempo. Esta característica del magnetismo terrestre ha quedado impresa en las lavas del fondo marino. Así, se originan bandas de distinta anchura, paralelas al eje de la dorsal, formadas por minerales orientados alternativamente. Estas bandas, llamadas anomalías magnéticas, son sin duda una de las pruebas más importantes que demuestran el crecimiento de la corteza oceánica a partir de las dorsales.

Esta característica magnética también prueba que los continentes se han movido, dado que las rocas magnetizadas de otras épocas tienen orientaciones distintas a las actuales. Incluso puede reconstruirse el desplazamiento seguido por los continentes en los últimos tiempos geológicos, a partir de los datos que nos proporciona el magnetismo antiguo (**paleomagnetismo**).

- **Distribución global de volcanes y terremotos**

Los terremotos y volcanes se distribuyen en la Tierra en bandas muy definidas. Tal distribución coincide plenamente con los límites de las placas, especialmente con los bordes que subducen. El rozamiento de la placa que subduce provoca un aumento de temperatura, de tal manera que se originan rocas fundidas que ascienden a la superficie de la tierra y dan origen a los volcanes.

- **Medida del desplazamiento de los continentes**

Se ha comprobado que los continentes se separan unos de otros a velocidades distintas en cada caso, pero del orden de varios centímetros/año. Se emplean satélites artificiales que realizan la medición mediante rayos láser.

- **Prueba biológica–ecológica**

Hace 130 o 140 millones de años, el Mar de los Sargazos era una zona pantanosa situada entre las actuales América y Europa. Allí desovaban las anguilas (tanto las europeas como las americanas). Actualmente siguen desovando allí aunque para ello tengan que recorrer miles de kilómetros en algunos casos, ya que tienen sus genes programados biológicamente para ir a ese lugar a desovar.

- **Origen del movimiento de las placas.**

El desplazamiento de las placas se debe seguramente a la liberación del calor de la Tierra. Las zonas calientes del interior de la Tierra evacúan el calor hacia el exterior, y a su vez, las zonas frías de la corteza se introducen en el manto, quizás de manera similar a la convección que se produce en los fluidos al calentarlos.

De esta manera se produce un movimiento de rocas plásticas del manto, que parece ser el causante del desplazamiento de las placas.

Unos científicos creen que sólo hay un sistema de circulación en el manto, mientras que otros creen que de ser así la Tierra se enfriaría muy rápidamente, por lo que piensan que debe existir un doble circuito de convección para que la Tierra pierda más lentamente su calor.



Otras teorías afirman que al subducir la el borde de la placa, arrastra tras de sí a la totalidad de la placa, debido a su peso.

- **Origen y evolución del fondo oceánico.**

- La mayor parte del fondo oceánico, sin considerar las plataformas continentales, se ha originado como consecuencia de la fracturación de las placas litosféricas y su separación.
- El fondo oceánico se crea en las zonas de las dorsales oceánicas y se destruye en las zonas de subducción.
- Cerca de los continentes encontramos las rocas más antiguas del fondo del mar; esta edad de las rocas disminuye a medida que nos acercamos a la dorsal oceánica, donde sólo encontramos rocas volcánicas.

- **Los bordes constructivos.**

En las dorsales (límites de placas donde se produce una separación), el hueco que dejan las placas al separarse es rellenado continuamente por material volcánico procedente del manto. Este material es el que forma la corteza oceánica y es quien provoca la expansión del fondo oceánico y el movimiento de los continentes.

Las dorsales son cadenas montañosas submarinas de perfil muy agreste y con una longitud de miles de kilómetros.

En el centro de muchas dorsales existe una gran depresión que las recorre, conocida como fosa tectónica o rift. El valle de rift se presenta como una serie de zonas hundidas escalonadas, resultado de un sistema de fallas. En el centro de este valle, la actividad volcánica es constante. Sobre estos fondos de la va no existe ningún sedimento, lo que demuestra que no ha habido tiempo de que nada se deposite sobre ellos. Junto a las lavas encontramos abundantes chimeneas volcánicas que emiten fluidos a altas temperaturas.

Tocas estas observaciones indican que las dorsales son las zonas de crecimiento de la corteza oceánica, por lo que se les denomina bordes constructivos.

Ejemplos típicos son Islandia o la zona del Rift africano.

- **Los bordes pasivos.**

Las dorsales no presentan continuidad a lo largo de su eje de cimas. Están rotas o interrumpidas constantemente por unas líneas de fractura perpendiculares al eje, que se denominan fallas transformantes.

En ellas, la actividad sísmica y volcánica es importante. Estrictamente, se considera falla transformante a la línea de ruptura que una las dorsales.

Un ejemplo típico es la falla de San Andrés en California (USA).

- **Los bordes destructivos.**

Los bordes destructivos coinciden con las zonas más profundas del océano (fosas oceánicas submarinas).

La placa oceánica tiene mayor densidad que los bordes continentales y al chocar con ellos, la litosfera oceánica penetra hacia la astenosfera.

La introducción hacia el interior de la Tierra permite que la placa se funda debido al aumento de la temperatura que se produce con la profundidad. De este modo, la placa litosférica, que se ha creado en la

dorsal, se recicle en estas zonas, a las que se ha denominado zonas de subducción.

En los bordes destructivos se originan grandes relieves, como las Montañas Rocosas y los Andes.

Además, es en los bordes destructivos donde se originan la mayor parte de los terremotos y de los volcanes de la Tierra.

### **Tipos de convergencia entre placas (Tipos de orógenos).**

Los choques entre placas originan la elevación de cadenas montañosas u orógenos. Existen tres posibilidades de choque:

- **Orógenos de colisión:** son el resultado del choque y la subducción de dos bordes de placa continentales, cuyo resultado es la elevación del orógeno (Ej. la cordillera del Himalaya).
- **Arcos de islas:** Se forman cuando una placa oceánica subduce bajo otra también oceánica. Esta subducción origina un vulcanismo muy intenso que da lugar a islas volcánicas dispuestas en forma arqueada (Ej. archipiélago de Japón).
- **Orógenos de tipo andino:** Son los formados en un borde continental, cuando bajo él subduce una corteza oceánica.

- **Los Pirineos: un ejemplo de orógeno de colisión.**

----- NO ENTRA EN EL TEMARIO -----

- **El interior de las placas.**

Ciertas estructuras geológicas que se originan en el interior de las placas, a veces, muy lejos de los bordes, son difícilmente explicables por la teoría de la tectónica de placas. El ejemplo más característico es la existencia de islas oceánicas alineadas.

### **Teoría del punto caliente**

Propone la existencia de una zona especialmente caliente en el interior de la Tierra, situada a gran profundidad, que envía materiales fundidos a la superficie, los cuales dan origen a volcanes y a islas volcánicas.

Al moverse la placa y permanecer el punto caliente fijo, las islas y los montes submarinos se van originando alineados. Las islas más antiguas que ya están lejos del punto caliente no tienen volcanes en actividad, mientras que las más jóvenes, las que se sitúan justo encima de este, presentan un vulcanismo activo.

- **Los terremotos.**

Las dorsales al crear nueva corteza, provocan un movimiento constante de las placas. Cuando llega a los bordes de subducción, dicho movimiento constante se transforma en discontinuo (como cuando movemos algo a tirones). La liberación no continua de energía que se produce al introducirse la placa hacia el manto provoca los terremotos.

Un terremoto se inicia en el interior de la corteza, en un punto denominado **foco o hipocentro**, y se transmite posteriormente a la superficie de la Tierra. El punto de la superficie más cercano al foco, que es el que se encuentra en su vertical, se denomina **epicentro**.

- La **magnitud** es la medida de la energía liberada. Es un valor absoluto y se obtiene a partir de las

ondas registradas en los sismógrafos. Para su medición se utiliza la **escala de Richter**.

- La **intensidad** es una medida subjetiva. Mide los efectos que ha causado el terremoto. Viene dada por la **escala de Mercalli**.

### **Los precursores sísmicos. La prevención de los terremotos.**

La acumulación de energía debida al movimiento de las placas produce unas pequeñas variaciones en las características locales del terreno. Estas variaciones se denominan indicios precursores del seísmo. Algunos de ellos son:

- Elevación del terreno.
- Cambios en la transmisión de corriente eléctrica en el terreno.
- Cambios en el campo magnético de la zona.
- Aumento de radón (gas radiactivo producido en los pozos).
- Aumento de la cantidad de microseísmos locales.

Sin embargo, la predicción sísmica actual está llena de fracasos. Aún no se cuenta con una metodología precisa para la detección.

### • **Los volcanes.**

El vulcanismo también está relacionado con los bordes de las placas litosféricas, aunque puede producirse en su interior.

En la península, la actividad volcánica no existe, si bien quedan restos de un vulcanismo geológicamente reciente. En las Islas Canarias han existido erupciones hasta hace muy pocos años (la última en la isla de La Palma en 1971, en el volcán Teneguía).

La peligrosidad de una erupción está relacionada con su explosividad; cuanto más alta sea la viscosidad de una lava, más alta es su explosividad.

### **Riesgo volcánico y vigilancia.**

La explosividad de un magma depende de la viscosidad del mismo y de su contenido en gases.

Si el magma es viscoso y muy rico en gases, explota violentamente, lanzando al aire fragmentos de magma líquido y rocas arrancadas del conducto por el que sale al exterior.

Hay dos tipos de erupciones volcánicas:

- **Efusivas:** liberan los materiales que se deslizan por las paredes del volcán (**coladas**), que no son peligrosas para las personas, dada su baja velocidad.
- **Explosivas:** son mucho más peligrosas, pudiendo producir nubes ardientes (que se desplazan a 100 km/h hacia la base del volcán) o lluvia de cenizas y materiales finos denominado **lapilli**.

El calor que se genera en el interior de la Tierra es el causante de su dinámica interna. Este calor interno, combinado con la presión, origina materiales fundidos o transforma unas rocas en otras, para que sus minerales estén más en concordancia con las nuevas condiciones termodinámicas.

### • **La deformación de las rocas.**

Cuando una roca es sometida a un esfuerzo puede reaccionar de tres maneras distintas:

- **Deformándose elásticamente:** Una vez que desaparece el esfuerzo que origina la deformación, retorna a la posición inicial.
- **Deformándose plásticamente:** Al deformarse, ya no vuelve a la posición inicial.
- **Rompiéndose:** Separándose en fragmentos.

La deformación depende de varios factores, como la intensidad del esfuerzo, la naturaleza de la roca, la presión a la que está sometida, la temperatura y el tiempo.

Los esfuerzos fundamentales a los que están sometidas las rocas son de dos tipos:

- **De compresión,** que hacen que las formaciones rocosas se acorten.
- **De distensión,** que hacen que las formaciones rocosas se alarguen.

### **Pliegues.**

Son el resultado de una compresión que produce una deformación plástica, la cual arruga los estratos y origina una serie de ondulaciones semejantes a ondas.

#### **Elementos de un pliegue:**

- **Plano o superficie axial:** Superficie imaginaria que pasa por las líneas de charnela.
- **Charnela:** Línea de máxima curvatura de un pliegue.
- **Flancos:** Zonas del pliegue situadas entre dos charnelas consecutivas; son los lados de los pliegues.
- **Cresta:** Zona que contiene los puntos más altos o bajos de un pliegue.
- **Traza axial (eje del pliegue o eje axial):** Intersección de la superficie axial con la superficie topográfica
- **Vergencia:** Inclinación del plano axial.

#### **Clasificación de los pliegues.**

- Según la posición de los estratos del pliegue:
  - **Anticlinal:** cuando aparecen las capas más antiguas en el núcleo del pliegue. (Regla nemotécnica: El pliegue Anticlinal tiene forma de A).
  - **Sinclinal:** Cuando aparecen las capas más jóvenes en el núcleo del pliegue:
- Según el grado de compresión que presentan los flancos:
  - **Isopacos:** los flancos no presentan ningún engrosamiento ni adelgazamiento.
  - **Ansiopacos:** Tienen un adelgazamiento en los flancos.
- Según la vergencia:
  - **Recto.**
  - **Inclinado.**
  - **Tumbado.**
  - **Recumbente.**

### **Fallas.**

Cuando el esfuerzo al que son sometidas las rocas es suficiente como para romperlas y desplazar los fragmentos rotos, se origina una **falla**.

#### **Partes de una falla.**

- **Plano de falla:** Superficie de desplazamiento de los dos bloques; normalmente es una superficie curva y presenta una inclinación con respecto a la vertical denominada buzamiento.
- **Salto de falla:** Desplazamiento entre los dos bloques. Puede medirse según la dirección vertical o según el plano de falla.

### **Tipos de fallas.**

- **Falla normal:** Cuando el plano de falla buza o se inclina hacia el bloque hundido.
- **Falla inversa:** Cuando el plano de falla buza o se inclina hacia el bloque levantado.
- **Falla en dirección o de desgarre:** Cuando el desplazamiento de los bloques no se realiza en la vertical y no existe ni bloque levantado ni bloque hundido: los bloques se desplazan en horizontal.

### **Asociación de pliegues y fallas.**

- Anticlinorio: Asociaciones de pliegues que originan un relieve positivo (asociación de anticlinales).
- Sinclinorio: Asociación de pliegues que originan un relieve negativo (asociación de sinclinales).
- Mantos de plegamiento: Asociación de pliegues tumbados y acostados que se encuentran en las grandes formaciones montañosas producidas durante la colisión de dos placas tectónicas.
- Pilares (Macizos) tectónicos: Asociación de fallas que originan bloques y producen relieves levantados
- Fosas tectónicas: Asociación de fallas que originan bloques y producen relieves hundidos.

### **Diaclasas**

Son aquellas fracturas que se producen en las rocas cuando el desplazamiento relativo que se origina entre los bloques es nulo o muy pequeño (Es una falla no desarrollada, en la que no ha habido desplazamiento).

### **ORIGEN DE LAS ROCAS.**

- Magmático o Ígneo
- Metamórfico
- Sedimentario

### **FENÓMENOS QUE ORIGINAN LAS ROCAS.**

#### **• MAGMATISMO.**

- Se denomina **magma** a una mezcla fundida de minerales y compuestos químicos formados principalmente por silicio.
- Esta mezcla está compuesta por elementos, sólidos, líquidos y gases.
- Origina minerales denominados silicatos.
- El 80 de los magmas se origina en los bordes constructivos (en las dorsales), y el resto, en las zonas de subducción. Una pequeña proporción se forma en el centro de las placas, en los denominados puntos calientes.

### **Series de cristalización de Bowen.**

Los minerales de un magma no cristalizan todos al mismo tiempo. El primer mineral que cristaliza es el olivino y posteriormente, a medida que disminuye la temperatura, van cristalizando los restantes.

Una vez formados, los minerales tienen dos opciones: cambiar su composición de una manera progresiva (serie de reacción continua) o reaccionar con el líquido magmático y originar otro mineral con una estructura

más complicada (serie de reacción discontinua).

Serie de reacción discontinua		Serie de reacción continua			
Melanocratos (minerales negros)		Leucocratos (minerales blancos)			
Olivino	Según se va enfriando el magma, cuando termina de formarse un mineral comienza a formarse el siguiente.	Primero aparece la plagioclasa cálcica y, según se va enfriando el magma, va apareciendo una mezcla hasta que se origina la plagioclasa sódica	Plagioclasa cálcica		
Piroxeno					
Anfíbol					
Biotita					Plagioclasa sódica

• **Origen, formación y dinámica de los magmas.**

- Los magmas se originan a partir de las rocas del manto superior o de la corteza profunda.
- Las temperaturas medidas en las lavas de los volcanes se sitúan entre los 700 y los 1.200 °C.
- La astenosfera (zona fundida situada en la parte superior del manto), se encuentra muy cerca de la superficie en las dorsales oceánicas y tiene temperaturas de 1.000 a 1.500 °C.
- El incremento de la presión que se produce a medida que es mayor la profundidad hace que los puntos de fusión de los minerales aumenten.
- En muchas ocasiones, un aumento de la temperatura funde parcialmente las rocas y produce líquido magmático que tiene una composición distinta a la de la roca inicial.

**Evolución de un magma.**

Los principales procesos que pueden cambiar la composición inicial del magma y que genere otras rocas distintas son:

- **Diferenciación por gravedad.** Cuando los cristales formados caen al fondo de la cámara magmática.
- **Migración del fluido o de los gases magmáticos.** Debido a la presión a la que está sometido el magma, algunos líquidos o gases pueden evolucionar hacia zonas superiores.
- **Asimilación.** El magma en su emigración hacia la superficie, se contamina y cambia su composición al fundir e incorporar rocas de distinta composición a la suya.

• **Tipos de magmas.**

Los geólogos consideran la existencia de dos tipos de magmas fundamentales, a partir de los cuales se originan la totalidad de las rocas ígneas.

- **Magma basáltico (ácido),** que se origina por la fusión del manto. Son pobres en sílice.
- **Magma granítico (básico),** que se forma por la fusión de la corteza profunda. Son ricos en sílice.

• **Rocas magmáticas.**

- **Rocas plutónicas.** Se forman cuando un magma que va ascendiendo desde el interior de la Tierra se enfría y solidifica antes de llegar al exterior.
- **Granito**
- **Granodiorita**
- **Diorita**

- **Gabro**

- **Rocas volcánicas.** Se originan cuando un magma atraviesa toda la corteza y sale sin solidificar al exterior. El magma se enfría rápidamente.
- **Basalto.**

- **METAMORFISMO.**

Cuando una roca de cualquier tipo (plutónica, volcánica o sedimentaria) está sometida a intensas presiones, a altas temperaturas, o a ambos factores al mismo tiempo, experimenta cambios importantes en su composición, en su estructura o en ambas a la vez. Este cambio produce minerales más acordes con las nuevas condiciones termodinámicas.

La nueva roca formada por minerales distintos, se denomina **roca metamórfica**. Una condición indispensable para que tenga lugar el proceso metamórfico es que la presión y la temperatura no sean tan elevadas que lleguen a producir la fusión de la roca, ya que en este caso, se originarían rocas plutónicas.

- **Minerales metamórficos.**

Generalmente los minerales mayoritarios de las rocas metamórficas son los mismos que los de las ígneas, aunque tienen algunos minerales peculiares:

- **Andalucita, sillimanita y cianita.** Poseen la misma fórmula química (aluminio, silicio y oxígeno, aunque se originan a temperaturas y presiones distintas).
- **Granates.** Son un conjunto de silicatos de hierro.
- **Estaurolita.** Es un aluminosilicato de hierro hidratado.
- **Clorita.** Tiene una estructura parecida a la biotita.

- **Intensidad del metamorfismo.**

Se denominan zonas de metamorfismo las regiones del interior de la Tierra que se definen por intervalos de temperatura; suelen coincidir con un aumento de la profundidad.

Se distinguen:

- La **epizona** (metamorfismo de grado bajo), con temperaturas que oscilan entre 200 y 450 °C.
- La **mesozona** (metamorfismo de grado medio), con temperaturas que oscilan entre 450 y 650 °C.
- La **catazona** (metamorfismo de grado alto), con temperaturas que varían desde los 650 °C hasta el punto de fusión de la roca.

- **Tipos de metamorfismo.**

La clasificación se realiza en función de la presión y la temperatura y de la intensidad con la que cada uno de ellos actúa.

- **Metamorfismo de enterramiento.** El factor determinante es la presión que actúa en la vertical debido a la fuerza de la gravedad.
- **Metamorfismo de presión o dinamometamorfismo.** Se origina cuando la presión dirigida es el factor dominante.
- **Metamorfismo de contacto o térmico.** El factor condicionante es la temperatura. Se origina cuando un magma en ascenso calienta las rocas que lo rodean recristalizando sus minerales.
- **Metamorfismo regional.** Es el más abundante. Los factores actuantes son el tiempo, la presión y la

temperatura. Afecta a grandes áreas de la corteza terrestre, situadas tanto en zonas de subducción como de colisión de cualquier tipo de orógeno.

- **Metasomatismo.** Se origina cuando agua cargada con elementos diversos, proveniente de zonas especialmente calientes circula por el interior de las rocas provocando reacciones que cambian la composición de la roca.
- **Estructura de las rocas metamórficas.**

Están formadas por minerales cristalizados, por lo que son **rocas cristalinas**.

Se pueden encontrar en dos tipos de estructuras:

- **No foliada** (no forman láminas). Estas rocas se confunden fácilmente con las plutónicas e incluso con las sedimentarias.
- **Cuarcitas**
- **Mármoles**
  
- **Foliada** (forman láminas). Es la más característica.
- Los cristales de tamaño muy fino originan una estructura hojosa denominada **pizarrosidad**.
- **Pizarras**
- Los cristales de grano medio dan un bandeo más grosero, denominado **esquistosidad**.
- **Esquistos**
- Los cristales de grano grueso se agrupan en bandas gruesas o **franjas gnésicas** de colores claros y oscuros.
- **Gneis**
  
- **Desarrollo histórico de las ideas sobre la edad de la Tierra.**

No entra para el examen.

- **Los métodos de datación y los principios que los sustentan.**

Estos métodos se suelen clasificar en **absolutos**, cuando permiten calcular el tiempo transcurrido desde un acontecimiento, y **relativos**, cuando permiten ordenar los sucesos, aunque no sea posible establecer la edad o duración de los mismos.

### **Relativos**

- **Principio de sucesión de los estratos.** Cuando se forman y depositan los sedimentos, los que están más abajo son los más antiguos.
- **Sucesión faunística.** Cada formación geológica contiene una asociación de fósiles que la definen. Es decir, las formaciones geológicas que se suceden en el tiempo tienen distintos fósiles.
- **Métodos de sucesiones rítmicas.** Se basan en algunos fenómenos rítmicos que se producen en la naturaleza.
- **Varvas glaciares.** Alternancia en los dos tipos de sedimentos depositados en los lagos originados por los glaciares.
- **Crecimiento de los árboles.** Los árboles en su crecimiento originan cada año un doble anillo (claro y oscuro) dependiendo de la cantidad de agua disponible para la planta.
- **Método de las inversiones magnéticas.** A través del estudio de las inversiones magnéticas que se producen en las dorsales de la corteza oceánica.
  
- **Métodos radiactivos.**



Muchos de los átomos que componen las rocas son átomos inestables y se descomponen espontáneamente emitiendo partículas y radiaciones electromagnéticas. Esta desintegración hace que los átomos iniciales se transformen en otros estables. De esta manera los átomos inestables van desapareciendo de la roca a medida que pasa el tiempo. A los átomos inestables se les denomina **isótopos radiactivos**. Si podemos medir la cantidad de isótopo inestable que hay en la roca y la cantidad de átomos estables que se han formado a partir de él, podremos calcular el tiempo transcurrido desde que se formó la roca.

### **Carbono-14.**

Es un isótopo radiactivo producido en la atmósfera cuando neutrones que proceden del Sol chocan con átomos de nitrógeno. Este carbono se incorpora, junto con los otros carbonos no radiactivos (como el carbono-12), a los vegetales, que los necesitan para realizar la fotosíntesis y producir materia orgánica. Posteriormente, de los vegetales pasa a los animales.

Mientras los organismos están vivos consumen los dos tipos de carbonos y la proporción entre ambos se mantiene constante. Una vez que mueren comienza la desintegración del C14, que vuelve a convertirse en nitrógeno. Por tanto a medida que pasa el tiempo, la proporción de C12 aumenta y la de C14 disminuye. Midiendo esta proporción se puede saber cuándo ocurrió la muerte de un animal o vegetal.

### **• Historia de la Tierra y de la Vida. Divisiones cronoestratigráficas.**

Periodo		Edad (millones de años)	
Precámbrico	Hadeano	4.200	
		Arcaico	
		Proterozoico	600
	Paleozoico	Cámbrico	570
		Ordovícico	
		Silúrico	
		Devónico	
		Carbonífero	
		Pérmico	250
	Mesozoico	Triásico	225
		Jurásico	
		Cretácico	65
	Cenozoico o Terciario	Paleógeno	60
		Neógeno	
		Cuaternario	La actualidad

### **• El Precámbrico (4200 – 600 millones de años).**

#### **Hadeano.**

- La Tierra termina de consolidarse geológicamente, alcanzando su tamaño actual hace unos 4.600 millones de años.
- Se forman los océanos en tan sólo 10 o 20 millones de años

#### **Arcaico.**

- Las rocas sedimentarias más antiguas que se conocen, datadas por métodos radiactivos, se formaron a comienzos del periodo Arcaico, hace unos 3.800 millones de años.
- La temperatura interna de la Tierra era mucho más elevada que la actual
- La atmósfera y los océanos eran deficitarios en oxígenos.
- Aparece la vida hace 3.800 millones de años.

### Proterozoico.

- La primera glaciación de las que quedan pruebas se produjo hace 2.300 millones de años, a principios del Proterozoico.
- Hace también 2.300 millones de años se produjo un súbito aumento de la producción de granito y se formaron amplias plataformas continentales.
- Las especies plactónicas tuvieron un gran desarrollo entre los 1.500 y los 700 millones de años, al que siguió una extinción muy rápida, que sugiere una gran catástrofe planetaria.
- Hace unos 1.000 millones de años aumentó la cantidad de oxígeno de la atmósfera, al crecer el número de organismos que realizaban la fotosíntesis y se aceleró la marcha hacia formas de vida más complejas.

- **El Paleozoico (570 – 250 millones de años).**

### Cámbrico

- La vida pobló los mares (los cuales tenían unas temperaturas templadas), pero la tierra firme permaneció estéril. Toda la vida animal era invertebrada, y los animales más comunes eran los artrópodos llamados trilobites, las esponjas y moluscos.
- Comienza la dispersión de Pangea 1.

### Ordóvico

- Aparecen los primeros vertebrados (peces acorazados).
- La temperatura vuelve a bajar.
- Glaciación ordovícico–silúrica.

### Silúrico

- Aparecen las primeras plantas terrestres.
- Aparecen animales parecidos a los escorpiones, parientes de los artrópodos marinos.
- Los trilobites disminuyeron, pero en los mares abundaban los corales, cefalópodos y peces mandibulados.

### Devónico

- Los peces abundan tanto en agua dulce como en aguas saladas. Entre ellos ya había tiburones primitivos.
- Primeros insectos.
- Primeras plantas gimnospermas.
- Gran desaparición de especies debido, al parecer, a un enfriamiento generalizado del planeta.
- Primeros anfibios.
- Primeros árboles.

### Carbonífero

- Glaciación permocarbonífera.
- Los reptiles y los vegetales con polen y semillas colonizan los continentes.
- Formación de pangea 2 (Pangea).

### Pérmico

- El clima de la tierra se hace muy extremo coexistiendo zonas ecuatoriales extremadamente áridas junto con helados casquetes polares.
- Extinción masiva de la fauna marina que se redujo al 30%.

- **El Mesozoico (225 – 65 millones de años) y el Cenozoico (60 millones de años a la actualidad).**

Mesozoico (Era secundaria):

- La era de los reptiles.
- Pangea comienza a escindirse en varias masas continentales, abriéndose los océanos Atlántico e Índico.
- Los mares cubrieron parte de los continentes, disolviendo depósitos salinos y permitiendo de nuevo el desarrollo de la vida en las plataformas continentales.
- Comienza el ciclo alpino, formándose numerosas cadenas montañosas.
- Se cerró el mar Mediterráneo convirtiéndose en un mar extremadamente salino. Hace 5 millones de años, volvió a abrirse el estrecho de Gibraltar.
- Gran evolución marina. Primeros ammonites y belemnites.
- Primeras plantas con flores.
- Primeros mamíferos.
- Los dinosaurios comienzan a entrar en crisis para desaparecer a finales del Cretácico junto con el 70% de las especies del planeta.

Cenozoico (Era terciaria):

- Expansión de los mamíferos.
- Aparición de la especie humana.

### • **¿QUÉ ES LA VIDA?**

Los seres vivos se caracterizan por:

- **Complejidad.** El ser vivo está formado por cientos o miles de moléculas distintas, en su mayoría muy complejas.
- **Organización.** Un ser vivo es materia organizada
- **Intercambio de materia o energía con el entorno.** Para mantener su estructura y organización, los seres vivos necesitan un intercambio continuo de materia y energía con el medio ambiente.
- **Reproducción.** Sería más correcto decir autorreproducción. El ser vivo se reproduce por sí mismo y en muchos casos la réplica no es fiel, ni es importante que lo sea.
- **Respuesta a estímulos.** Es la característica más reconocible. Los seres vivos son capaces de reconocer el medio que les rodea y responder a los cambios que se producen en él.

Otras definiciones de ser vivo:

- Cualquier sistema capaz de reproducción, de mutación y de reproducción de sus mutaciones.
- Ser viviente es cualquier estructura que metaboliza y se autopropaga.

Un ser vivo es una estructura dotada de una serie de propiedades que le permiten desarrollar su actividad. Esta actividad se resume en las **funciones vitales**:

- **Nutrición y autosíntesis:** mantenimiento del individuo.
- **Reproducción y selección reproductiva:** mantenimiento de la especie.
- **Relación:** reconocimiento del medio interno y externo, necesario para la nutrición y la reproducción.

¿De qué está hecho el ser vivo?

El 98% de la composición química de los organismos vivos corresponde a cuatro elementos: carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. Estos elementos, junto a otros más, se agrupan en diversos tipos de moléculas que están sujetas a las mismas leyes de la física y de la química que el resto de la materia.

**La vida es una propiedad especial de la materia que dota a los cuerpos que la poseen de las capacidades de metabolismo y autoperpetuación.**

### • **EL ORIGEN DE LA VIDA. DIVERSIDAD DE INTERPRETACIONES.**

A lo largo de la historia se han dado numerosas explicaciones sobre el origen de la vida, aunque todas ellas se pueden reunir en cuatro grandes teorías:

- **Origen sobrenatural.** El origen de lo vivo se debe a uno o varios actos directos de creación divina.
- **Generación espontánea.** En determinadas condiciones, los seres vivos surgen a partir de la materia inanimada. Esta explicación presenta dos variantes principales:
  - La **versión idealista o vitalista**, que considera imprescindible un impulso vital o espiritual para que se formen organismos (esta variante es plenamente compatible con el origen sobrenatural).
  - La **versión materialista** que mantiene que los seres vivos pueden surgir a partir de materia inanimada sin necesidad de impulso vital alguno. La generación espontánea sería, por tanto, una propiedad de la materia que se manifiesta en determinadas condiciones.
- **Teoría de la panspermia.** Supone una distribución universal o extraterrestre de gérmenes vivos. La aparición de vida sobre la Tierra podría explicarse si se supiera como llegó al planeta.
- **Evolución química y celular.** Mantiene que la vida apareció, a partir de materia inerte, en un momento en el que las condiciones de la Tierra eran muy distintas a las actuales. Se distinguen tres etapas:
  - En el océano primitivo, gracias a una atmósfera muy distinta de la actual, se produjeron moléculas imprescindibles para la vida por **evolución química**.
  - A continuación se formaron polímeros (cadenas) de estas moléculas con capacidad de replicación en la **evolución prebiótica**.
  - Por fin las moléculas se organizaron en entidades separadas del medio por membranas (protocélulas) y comenzó la **evolución biológica**.

### • **LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA.**

Hubo que esperar a **Luis Pasteur**, en la segunda mitad del siglo XIX, para que la teoría de la generación espontánea recibiera el golpe mortal, último y definitivo.

## **Las experiencias de Pasteur.**

Los experimentos de Pasteur refutan todas y cada una de las afirmaciones que se habían hecho sobre la generación espontánea. Demostró que los microorganismos conquistan un medio y se reproducen activamente en él y que si se impide su presencia no aparecen ni por generación espontánea ni por otro procedimiento cualquiera.

Las conclusiones finales de sus experimentos fueron:

- En el aire se encuentran abundantes esporas de microorganismo.
- Estas esporas eran las responsables de la contaminación en la mayoría de las experiencias realizadas hasta entonces.
- Aunque se comunique el cultivo con la atmósfera, si se impide la entrada de gérmenes, el cultivo no se contamina.
- La propagación de los microorganismos del aire es muy variable en función de la época del año y del lugar.
- El aire no es la única fuente de contaminación. También lo son los frascos y los instrumentos utilizados.
- La putrefacción no es la causa de la presencia de microorganismos, sino al contrario: son los microbios los que la producen.

La conclusión definitiva es que **todo ser vivo procede de otro ser vivo**.

## **• INTERPRETACIONES ACTUALES. EL ESCENARIO PREBIÓTICO.**

A comienzos del siglo XX, ya existían las premisas para entender la perspectiva actual sobre el problema del origen de la vida.

- Todo ser vivo procede de otro ser vivo.
- Los seres vivos están formados por células y estas están compuestas fundamentalmente por moléculas orgánicas.
- Se pueden producir cambios en la información genética u estos son los únicos que se heredan y suponen cambios en las especies.
- Las diferentes especies han surgido por evolución de otras precedentes.
- Los seres vivos tienen un antepasado común que se sitúa en el origen mismo de la vida sobre la tierra.

## **La tierra prebiótica.**

**Se calcula que la tierra pudo formarse hace unos 4.600 millones de años a partir de polvo cósmico y gases interestelares.**

**Una gran actividad volcánica arrojó vapor de agua cuya condensación dio lugar a los océanos.**

**Otros gases volcánicos fueron retenidos por gravedad y formaron una atmósfera que contenía diferentes átomos (hidrógeno, nitrógeno, carbono y oxígeno) que, al bajar la temperatura, se unieron para formar moléculas de metano (CH<sub>4</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O). Esta atmósfera era de carácter reductor, ya que carecía de oxígeno.**

**En una atmósfera de este tipo, la síntesis orgánica es posible e incluso probable, siempre y cuando haya aportes de energía. La ausencia de capa de ozono permitía el paso de gran cantidad de radiaciones provenientes del Sol. Además, en las frecuentes tormentas se producían descargas eléctricas.**

**Este escenario presenta características propicias para la síntesis u estabilidad de compuestos orgánicos del tipo de los que forman los seres vivos.**

**En una atmósfera como la descrita (de carácter reductor) y gracias a la energía de las radiaciones y de las tormentas, se pudieron sintetizar sustancias orgánicas que, en el medio acuoso de charcas o mares, formaron un caldo primitivo. En dicho caldo, a partir de moléculas orgánicas elementales, se formaron otras más complejas, las macromoléculas, que constituyeron coloides que evolucionaron hasta formar protocélulas con una membrana que las separaba del medio externo. A partir de ahí la evolución biológica se encargó del resto.**

### • **EVOLUCIÓN QUÍMICA. LA SÍNTESIS DE LAS MOLÉCULAS ORGÁNICAS.**

Experimentalmente, se ha conseguido reproducir las condiciones primitivas de la atmósfera (de características reductoras) y océano (en estado de ebullición) primitivos, y aportando la energía mediante descargas eléctricas, al cabo de unos días, el análisis resultante demostró la presencia entre otras moléculas de pequeñas cantidades de aminoácidos (glicerina, alanina, ácido aspártico) que son los componentes de las proteínas.

Una vez formadas las primeras moléculas orgánicas (aminoácidos, bases nitrogenadas, etc.), el siguiente paso en la evolución química fue la síntesis de las macromoléculas.

Las reacciones necesarias (polimerización) para la formación de las macromoléculas fueron muy lentas al no existir aún los enzimas, aunque pudieron ser favorecidas por un aumento en la concentración del caldo, debido a la evaporación del agua, en lagunas y mares continentales, o a su congelación.

El final de la primera etapa, la evolución química, sería la aparición de las macromoléculas fundamentales para la vida: las proteínas y los ácidos nucleicos.

### • **EVOLUCIÓN PREBIÓTICA. EL MUNDO DEL ARN.**

Mientras que unos científicos opinan que las proteínas fueron las primeras moléculas de la vida ya que son imprescindibles en la formación de las membranas biológicas y en las reacciones químicas que tienen las células; otros opinan que las moléculas de ADN fueron las primeras en tener la capacidad de autorreplicación sin necesidad de estructuras membranosas ni de un soporte metabólico (**hipótesis del gen desnudo**).

Esto nos sitúa en una polémica debido a que, para que se produzca el ADN son necesarias las proteínas, y para que se produzcan las proteínas es necesario el ADN ¿Quién apareció primero?

Una tercera vía opina que la primera molécula con capacidad de replicación y metabolismo fue el ARN, compuesto intermediario entre el material genético (ADN) y los enzimas (proteínas).

- Las moléculas de ARN evolucionarían incorporando nucleótidos, de forma que aprenderían a sintetizar proteínas que les sirvieran para mejorar su capacidad de replicarse.
- Las moléculas de ARN mutarían, quedando sólo las más complejas y efectivas (mediante selección natural).
- Las moléculas de ARN se rodearían de lípidos, glúcidos y proteínas formando algo parecido a un virus.

### • **APARICIÓN DE LAS PROTOCÉLULAS. EL FINAL DEL PRINCIPIO.**

Sin entrar de nuevo en el debate de si el gen formó la primera membrana o esta llegó después a contener el gen, nadie duda de que antes de surgir las primeras células, tuvieron que formarse estructuras con membranas.

Las membranas biológicas están constituidas fundamentalmente por moléculas de proteínas y de lípidos. Los

complejos proteínas–grasas pueden formar espontáneamente finas películas o membranas en un medio acuoso. En consecuencia, no existe ningún inconveniente que nos impida admitir que en el caldo primitivo se produjeron estructuras membranosas.

Y si aparece una estructura limitada por una membrana, que intercambia materia o energía con el medio y que se autorreproduce, estaríamos ante la primera célula.

### • **EVOLUCIÓN CELULAR. EVOLUCIÓN BIOLÓGICA.**

La vida pudo originarse hace más de 3.500 millones de años con células parecidas a las bacterias actuales. La evolución a partir de estas de estas células puede ser esquematizada como sigue:

- Las primeras células serían procariotas (como las bacterias). Se alimentarían de la materia orgánica presente en el caldo primitivo y, por lo tanto serían **heterótrofos anaerobias**, ya que el oxígeno todavía no estaba presente en la atmósfera primitiva.
- Conforme la materia orgánica fue escaseando, la evolución por selección natural favoreció a las formas vivas capaces de fijar nitrógeno atmosférico, con el fin de producir los aminoácidos necesarios.
- Algunas de estas bacterias serían capaces de producir pigmentos captadores de la energía de la luz. Comenzó así la fotosíntesis pero sin producción de oxígeno. Estas células fueron, por lo tanto **fotosintéticas anaerobias**.
- Algunas células lograron obtener hidrógeno mediante la descomposición del agua, gracias a la energía de la luz, que eran capaces de captar. De este modo surgió la **fotosíntesis con producción de oxígeno**. Se originarían así las **cianobacterias** que condujeron a la progresiva acumulación de oxígeno en la atmósfera.
- La gran competencia que sufrieron las bacterias anaerobias hizo que estas evolucionaran hacia un metabolismo que utilizaba el oxígeno. Nace así la **respiración** a cargo de las primeras **bacterias aerobias**.
- Hace unos 1.800 millones de años nacen las primeras células eucariotas, dotadas de compartimentos limitados por membranas (como el núcleo). Su complejidad y organización supuso otro cambio importante en la evolución.

Hay dos teorías que intentan explicar las causas y el modo de esta aparición:

- **Teoría autógena:** El incremento progresivo del tamaño de las células se acompaña de un desarrollo de los compartimentos del citoplasma. La membrana células se invagina y va formando la membrana nuclear y los demás compartimentos membranosos especializados. En la actualidad se encuentra abandonada.
- **Teoría de la endosimbiosis:** Una gran bacteria anaerobia incorporó en su interior una bacteria aerobia de menor tamaño. Se estableció entre ellas una relación simbiótica, de modo que la bacteria pequeña acabó transformándose en mitocondria. Así se pudo formar la primer célula eucariota de tipo animal (heterótrofa).

Otro proceso de endosimbiosis se pudo haber establecido entre la célula eucariótica formada y otra del tipo de las cianobacterias actuales. Esta, más pequeña, podría haber dado lugar a los cloroplastos. Se formaría así el antepasado de la célula eucariótica vegetal (autótrofa).

### • **TEORÍAS PREEVOLUCIONISTAS: EL FIJISMO.**

- El **fijismo – creacionismo**, sostiene que las especies permanecen idénticas a sí mismas desde su origen hasta nuestros días, ya que han sido creadas tal y como son.
- El **transformismo o evolucionismo**, defiende que las especies derivan unas de otras por transformación o evolución

Hasta comienzos del siglo XIX, el pensamiento científico, sometido a las influencias religiosas y metafísicas, era a la vez fijista y creacionista. Ello era debido a la interpretación literal del relato bíblico del Génesis, según el cual todos los seres vivos fueron creados por Dios en su forma definitiva.

- El **catastrofismo** sostiene que las especies no se transformaban y que no existen restos fósiles que evidencien tal transformación. Según la teoría de las catástrofes, los fósiles eran restos de seres vivos que se habían extinguido en ciertas zonas a causa de algún cataclismo geológico espontáneo y violento; es decir, los fósiles eran restos de especies extinguidas y nunca formas desaparecidas de las especies existentes en la actualidad. Tras cada cataclismo, especies que habitaban en otros lugares se desplazaban a la zona que había sufrido la catástrofe y la colonizaban. Esto explicaba la presencia de las especies actuales en zonas en las que se habían encontrado restos fósiles de especies inexistentes en el presente.
- La **teoría del uniformismo** o **actualismo**, defendía que los acontecimientos del pasado remoto de la tierra fueron causados por la acción de fuerzas idénticas a las que operan en la actualidad. De tal afirmación se deduce que si el catastrofismo no es válido para explicar los acontecimientos del presente, tampoco lo es para explicar los acontecimientos del pasado.

### • **LAS TEORÍAS PREEVOLUCIONISTAS: LOS PRECURSORES.**

Ya en la Grecia clásica hubo autores que pueden considerarse evolucionistas. Así **Aristóteles** consideraba que los seres inferiores evolucionan hacia los superiores por un impulso divino y que todo en la naturaleza tiene una finalidad.

Con la llegada del **cristianismo** se impuso dogmáticamente una visión de la naturaleza inspirada en la interpretación literal del Génesis. Esta forma de pensamiento perduró hasta el siglo XVII.

### **La teoría de Lamarck.**

Se puede esquematizar en los siguientes puntos.

- Las formas más simples surgen con frecuencia por **generación espontánea** (esta era una creencia general en su época).
- En todos los organismos existe un **impulso interno** que les lleva instintivamente hacia una mayor complejidad.
- Esta tendencia natural es influida por las circunstancias. Los cambios en el ambiente producen nuevas necesidades en los organismos, que hacen que estos se vean obligados a utilizar más ciertos órganos o a dejar de hacerlo. Por este **uso** o **desuso** se produce la formación, el desarrollo o la debilitación, la atrofia y la desaparición de dichos órganos, lo que causa alteraciones o cambios en la constitución de los organismos. De aquí viene la frase la función crea el órgano.
- Estas alteraciones o cambios, adquisiciones o pérdidas, son conservadas por los descendientes, es decir, son heredables. Esta hipótesis se conoce como herencia de los caracteres adquiridos.

En resumen:

- Para Lamarck, los hábitos y el modo de vida de un animal, así como las condiciones en que vivieron sus ascendientes, son los que determinan, con el transcurso del tiempo, su forma corporal, sus órganos y sus caracteres.



- Tales planteamientos transformistas no postulaban que cualquier especie pudiera transformarse en otra –como algunos malinterpretaron en tiempos de Lamarck–, sino que una forma animal sólo puede transformarse en otra próxima, con lo que las faunas van cambiando gradualmente.

### **Aciertos y desaciertos en la teoría lamarckiana.**

La teoría de Lamarck ha sido desautorizada en función de los siguientes argumentos:

- No existe ningún dato que demuestre en los seres vivos una tendencia natural y espontánea hacia la complejidad.
- La hipótesis de la herencia de los caracteres adquiridos no ha podido ser probada. Se ha demostrado experimentalmente que las transformaciones sufridas por un organismo en el transcurso de su vida no se transmitían a la descendencia.
- Al no existir herencia de los caracteres adquiridos, para explicar las adaptaciones de los organismos sería necesario que el medio ejerciera una acción directa sobre el material genético del individuo (genotipo), lo que no ha podido ser comprobado hasta el momento.

### **• LA EVOLUCIÓN SEGÚN WALLACE Y DARWIN.**

La teoría de la evolución fue concebida al mismo tiempo, aunque de manera independiente por Wallace y Darwin.

### **Los argumentos de Darwin.**

Los argumentos sobre los que se sustenta la teoría de la evolución son:

- **El mundo no es estático**, sino que está en continua transformación (evolución). Las especies cambian continuamente: con el paso del tiempo, algunas se extinguen y otras nuevas aparecen. Cuanto más antiguas son las formas, más diferentes son de las actuales.
- **El proceso de cambio es gradual y continuo**, no se produce a saltos discontinuos o por transformaciones súbitas.
- **Los organismos que presentan semejanzas están emparentados** y descienden de un antepasado común. De esta manera es posible remontarse hasta un origen único de la vida.
- El cambio evolutivo es el resultado del proceso de **selección natural**.

### **La selección natural**

El proceso consta de dos fases:

- **La producción de variabilidad en cada generación de organismo.**
  - Los descendientes de una determinada especie se diferencian entre sí, lo que les hace estar diversamente adaptados al hábitat en el que han nacido: es la noción de **variación en la población**. Por tanto, la materia prima de la evolución la aportan pequeñas variaciones a las que Darwin denominó **diferencias individuales**.
  - Estas diferencias individuales son heredables en unos casos y en otros no. Según Darwin, existen dos tipos de **diferencias heredables**:
  - Las que están **condicionadas por la acción directa del medio**: tal es el caso de la coloración de las

plumas de ciertas aves, producida por la dieta, o el menor tamaño de las plantas que crecen sobre suelos pobres.

Hay que hacer notar el error de Darwin al considerar la acción directa de las condiciones ambientales como fuente de variabilidad en las poblaciones, ya que sus consecuencias, al no ser hereditarias, no aportaban materia para la acción de la selección natural.

- Las **modificaciones espontáneas**: como, por ejemplo la aparición, dentro de una población animal, de individuos con las patas más cortas. Aunque Darwin desconocía los mecanismos por los que se heredan los caracteres, en las modificaciones espontáneas –que sí se heredan– acertó a encontrar el origen de la variabilidad. Ellas permitían a los seres vivos acomodarse a los cambios del medio. El resultado es lo que se conoce como **adaptación**.

- **La selección a través de la supervivencia por medio de la lucha por la existencia.**

Darwin observó que el número de individuos de las poblaciones permanecía más o menos constante a través de las generaciones, lo que implicaba la muerte de una gran cantidad de individuos en una fase temprana de su vida. Esto llevó a que se preguntase: ¿Qué o quién causa estas muertes? ¿Sólo son determinados individuos los que perecen o sobreviven, o la muerte y la supervivencia son producto del azar?

Como respuesta concibió la idea de la **lucha por la existencia**, es decir la adaptación. Los individuos más eficaces a la hora de proporcionarse alimentos y hábitat, y con más aptitudes para dejar un mayor número de descendientes, son los más favorecidos y transmiten a sus hijos los caracteres favorables que han permitido su éxito. **En la lucha por la existencia sobreviven únicamente los más aptos**. De esta forma, por acumulación continua de variaciones se producen nuevas variedades o razas, que progresivamente adquieren el rango de subespecies y, finalmente de nuevas especies.

### **El rechazo de la teoría Darwiniana.**

El impacto científico, religioso y social que representó la teoría darwiniana fue extraordinario, siendo rechazada tanto por los ambientes científicos como por la Iglesia.

- **NEODARVINISMO O TEORÍA SINTÉTICA.**

En sentido amplio es una síntesis moderna de la teoría darwinista, revisada y enriquecida por las contribuciones de tres disciplinas: la **genética**, la **sistemática** y la **paleontología**.

### **La contribución de la genética.**

- **El mutacionismo.**

Esta teoría sostenía que el paso de una especie a otra se realizaba por un salto brusco o mutación, y no gradualmente, bajo la acción de la selección natural.

A partir de los años 20 con el desarrollo de la genética de poblaciones se fueron abandonando las ideas mutacionistas.

- **La genética de poblaciones.**

Tiene como finalidad estudiar las consecuencias de la transmisión de los caracteres en los conjuntos de individuos de la misma especie que se conocen como poblaciones.

Si la población se ve sometida a nuevas condiciones de vida –cambios ambientales–, ciertas mutaciones, que hasta ese momento habían sido desfavorables, pueden convertirse en favorables. Los individuos que las presentan fenotípicamente tendrían una mejor adaptación al medio y se desarrollarían de forma privilegiada, vivirán más tiempo y dejarán más descendientes. En la siguiente generación, los genes responsables de las constituciones mejor adaptadas serán más frecuentes, y en pocas generaciones llegarán a ser mayoritarios y finalmente exclusivos. Si el número de genes afectados es grande, la población acabará teniendo una constitución genética tan diferente a la inicial que nacerá una nueva especie. Esto no ocurre debido a la acción del medio sobre el genotipo, sino a una selección de aquellos genotipos susceptibles de responder mejor (adaptarse mejor) a las nuevas exigencias del medio.

La evolución puede entenderse como la modificación progresiva de la composición genética de las poblaciones.

### **La contribución de la sistemática.**

Se denomina **especiación** al mecanismo por el cual se forma una nueva especie.

- **La especiación simpátrida.**

Las nuevas especies se originan en el seno del área de distribución de la población. De acuerdo con este modelo, habría individuos que se irían adaptando a los distintos nichos ecológicos y se irían apareando únicamente entre ellos. Esto les conduciría a divergir progresivamente, hasta no poder originar una descendencia fértil en sus cruzamientos con otros individuos de la población.

En este mecanismo, son exclusivamente las condiciones ecológicas las que, actuando como selección natural, guían la formación de una nueva especie.

- **La especiación alopátrida.**

Como contrapunto a la concepción clásica de la especiación simpátrida, la especiación alopátrida apunta que es posible que alguna población quede accidentalmente aislada del área principal de distribución de la especie por una barrera geográfica –un gran río, una cadena montañosa, el mar, etc.–. Puede llegar un momento en el que las divergencias acumuladas impidan que esta población aislada pueda cruzarse y dar descendientes fértiles con el resto de las poblaciones, en el caso de que pudieran reencontrarse. Es entonces cuando se considera que ha aparecido una nueva especie.

### **La contribución de la paleontología.**

Consiste en demostrar, a partir del estudio de los fósiles, que la evolución consiste en una acumulación progresiva de pequeñas variaciones (genes mutados) en el seno de las poblaciones.

Se ha comprobado que las tendencias evolutivas no se deben a una progresión innata hacia la perfección, sino al mantenimiento de la selección natural en una misma dirección. Así por ejemplo, la reducción del número de dedos que se observa en las especies que constituyen el árbol evolutivo del caballo, se explica por la adaptación progresiva a la carrera rápida, la cual les proporcionaba una mayor eficacia al hora de escapar de sus depredadores en campo abierto.

### **La teoría sintética en cuatro puntos.**

- Considera la herencia de los seres vivos tomando a estos no como individuos aislados, sino como miembros de poblaciones.
- Sostiene que las variaciones postuladas por Darwin no son debidas a la acción del medio, sino que son

mutaciones aparecidas al azar y escogidas por selección natural, que es la causa última de la evolución de las especies. Por tanto, la evolución biológica se efectúa por el juego del azar modulado por la selección natural.

- Incorpora un nuevo modelo de especiación: la especiación alopátrida.
- Mantiene que los restos fósiles ponen en evidencia que el proceso evolutivo de transformación de una especie en otra se lleva a cabo de manera gradual, de acuerdo con el modelo darvinista.
- **REVISIONES Y ALTERNATIVAS A LA TEORÍA SINTÉTICA.**

- **Neodarvinismo:**

La mutación tiene un **carácter preadaptativo**, es decir, primero se origina la mutación, y, después, la presencia de esta favorece o no la posterior adaptación de los organismos al entorno.

Las principales corrientes críticas son:

- **Neolamarckismo:**

La mutación tiene un **carácter postadaptativo**, es decir, el medio impone al organismo la necesidad de que se produzca una adaptación y origina la mutación.

Los neolamarckistas, por lo tanto, postulan que las mutaciones se producen como consecuencia de la presión ambiental y que el proceso evolutivo consiste en la aparición de nuevos genes como respuesta a los estímulos del ambiente.

- **Neutralismo:**

Esta postura niega a la selección natural el papel de motor de la evolución.

Plantea que la mayoría de las mutaciones tienen poco valor selectivo, ya que son **neutras** y no se manifiestan en el fenotipo; es decir, no se traducen en ventajas o desventajas en la lucha por la existencia para los individuos de las poblaciones.

Según esta teoría, la misión de la selección natural no sería creativa, como afirman los darvinistas, sino negativa: eliminaría las mutaciones perjudiciales.

### **Los equilibrios interrumpidos: una revisión desde el darvinismo.**

- Se define como **microevolución** a la aparición de modificaciones mínimas que afectan gradualmente a las poblaciones.
- Se define como **macroevolución** a la diversificación a nivel de los grandes grupos taxonómicos: familias, órdenes, clases...

El modelo de los **equilibrios interrumpidos (saltacionismo)** no concibe la macroevolución como microevolución mantenida durante miles o millones de años, sino que postulan que la macroevolución se debe a una revolución genética y que, por tanto, no es un proceso gradual, sino que se realiza a saltos.

Según este planteamiento, la sustitución de una especie por otra no es el resultado directo de la macroevolución –como sostienen los neodarvinistas–, ya que la especiación es un fenómeno diferente al del cambio adaptativo continuado de los individuos de las poblaciones. La selección natural explicaría el origen de las adaptaciones, no el de las especies.

## La formación de las especies.

El saltacionismo (o puntualismo) se basa en el hecho de la aparición brusca de las especies en las series de fósiles y en la comprobación de la estabilidad de su morfología durante largos periodos de tiempo. Fases de millones de años de estabilidad de las especies, con cambios morfológicos limitados, son de repentes interrumpidas por rápidos procesos de especiación, es decir, por la aparición repentina, en cualquier área local, de una nueva especie – o especies–, que aparece de golpe y totalmente formada (monstruos viables).

## La respuesta al planteamiento puntualista.

El planteamiento puntualista se puede rebatir si se considera que al hablar de periodos de formación brusca de una especie se habla de 100.000 años o más, y que al hablar de periodos de estabilidad nos referimos a millones de años. Así en los 100.000 años de formación de una especie pueden producirse miles e incluso millones de generaciones, dependiendo de la especie a la que nos refiramos, y este es un número suficiente de generaciones para que, desde el punto de vista de la genética de las poblaciones, se pueda considerar la posible influencia de la sustitución de unos genes por otros.

### • LAS PRUEBAS DE LA EVOLUCIÓN.

#### • Prueba de la sistemática.

La sistemática agrupa a los organismos en distintas categorías de acuerdo con sus semejanzas y diferencias. Así, reúne a los organismos muy relacionados, en especies; las especies parecidas, en géneros; los géneros, en familias; las familias, en órdenes; los órdenes, en clases; las clases en filos y, finalmente los filos en reinos.

Al reflejar tales semejanzas, las modernas clasificaciones reflejan las historias evolutivas de los grupos (filogenias), ya que utilizan como criterio fundamental el agrupamiento de las relaciones que presentan los organismos entre sí y con sus antepasados comunes. Estas relaciones se pueden representar en árboles genealógicos.

#### • Prueba paleontológica.

La paleontología se ocupa del estudio de los fósiles. La presencia y la distribución de los estratos de los restos de las floras y faunas extinguidas demuestran la existencia de un proceso de cambio a lo largo del tiempo.

Se han encontrado numerosas **formas puente** o eslabones entre dos tipos o grupos de seres distintos, aunque no es un hecho general debido a lo limitado del registro fósil.

#### • Prueba de la anatomía comparada.

Distintas especies presentan partes de su organismo constituidas bajo un mismo esquema estructural. Esto apoya una similitud de parentesco u **homología** entre órganos que deben haber tenido un mismo origen y un desarrollo común durante cierto tiempo.

Un ejemplo de **órganos homólogos** lo constituyen las extremidades anteriores de los mamíferos, las cuales, aunque son utilizadas para diferentes fines, tienen la misma estructura básica, la misma relación con otros órganos y el mismo tipo de desarrollo embrionario.

No hay que confundir los órganos homólogos con los **órganos análogos**, que son aquellos que presentan semejanzas por desempeñar una misma función, pero que tienen un origen totalmente diferente y no corresponden a un mismo plan estructural. Tal es el caso de las alas de los insectos y de las aves.

Existen órganos homólogos, llamados **órganos vestigiales**, que no realizan ninguna función y que, sin embargo, están presentes en los individuos, generación tras generación, lo que pone de manifiesto el parentesco evolutivo de estos con otros seres vivos. Un ejemplo, en los humanos, lo constituyen el coxis (remanentes de la cola), el apéndice, las muelas del juicio o los músculos del pabellón auditivo.

- **Prueba embriológica.**

Prácticamente en todas las especies se encuentran caracteres ancestrales que desaparecen durante el proceso embrionario.

La **teoría de la recapitulación** o **ley ontogenética** puede enunciarse: El desarrollo individual (**ontogénesis**) viene a ser un compendio del desarrollo histórico evolutivo de la especie (**filogénesis**). Es decir: la ontogénesis es la recapitulación de la filogénesis.

Se comprueba que en el desarrollo embrionario de los animales se pasa por fases idénticas a las de los embriones de otros animales inferiores. El embrión de un animal superior nunca es comparable al adulto de un animal inferior, pero sí se parece al embrión de este.

Veamos un ejemplo:

En la cuarta semana de embarazo, los embriones humanos presentan una serie de fosas y bolsas branquiales en la región del cuello y poseen temporalmente cola, rasgos propios de peces y mamíferos no homínidos, organismos a partir de los cuales evolucionó el ser humano.

- **Prueba de la bioquímica comparada.**

El análisis comparativo en distintos organismos, de los compuestos químicos que constituyen los seres vivos, ha aportado datos que también apoyan la verosimilitud del proceso evolutivo.

En primer lugar, el hecho de que toda forma de vida esté basada en los mismos tipos de moléculas (proteínas, lípidos, hidratos de carbono, ácidos nucleicos...) hace pensar en un origen común de todos los seres vivos. Se sabe que todos los ácidos nucleicos de todos los grupos de organismos presentan la misma estructura, y que las proteínas de todos los seres vivos están constituidas, básicamente, por los mismos veinte aminoácidos.

Además, cuando se comparan en distintas especies, la secuencia de aminoácidos de una determinada proteína, la secuencia de nucleótidos de su ADN, o, las hormonas, se encuentran mayores o menores semejanzas en las secuencias, en función del grado de parentesco evolutivo existente entre las especies estudiadas.

Se ha comprobado, por ejemplo, que la hemoglobina (proteína encargada de transportar el oxígeno por la sangre) presenta la misma estructura básica en todos los vertebrados.

- **Prueba de la adaptación**

Una prueba muy llamativa de la acción de la selección natural y de la aparición de la variabilidad en el proceso evolutivo es el melanismo industrial de la polilla moteada.

Se pudo verificar que tras liberar polillas previamente marcadas, tanto de la forma clara como de la forma oscura, se recuperaban el doble de ejemplares de polillas oscuras que de claras, debido a que las aves comían más cantidad de estas últimas, a las que veían mejor. En este caso se ha podido analizar el proceso de la evolución (microevolución), en el cual las aves han actuado como agente de selección. Los abundantes casos de **mimetismo** que se presentan en la naturaleza tienen su origen en una mecánica similar.

- **Prueba de la distribución geográfica.**

Al estudiar la distribución de las especies vivientes del planeta se comprueba que, en general, estas no tienen una presencia uniforme en todos los continentes, a pesar de que en estos existan hábitats apropiados para su desarrollo, como se ha comprobado al introducir especies, como el conejo o el zorro, en Australia.

Por ejemplo, las islas oceánicas presentan unas floras y faunas características, al no haber estado nunca unidas a los continentes. Sus organismos muestran adaptaciones evolutivas variadas o hay significativas ausencias de grupos importantes de seres vivos. Esto sólo puede explicarse si se acepta la evolución independiente de especies a partir de antecesores locales pioneros o la imposibilidad de que se lleve a cabo la colonización debido a la existencia de barreras geográficas.

- **Prueba de la domesticación.**

Las razas de caballos, vacas, cabras, ovejas, gallinas, etc., así como las variedades de plantas comestibles que hoy en día conocemos, son el resultado de cambios evolutivos controlados por los seres humanos mediante mecanismos de selección de cruces, proceso que se conoce como **selección artificial**. Esto es una prueba más de como se produce la variabilidad de las formas de los organismos por mecanismos de selección controlados.

- **LAS RELACIONES FILOGENÉTICAS.**

Los organismos actuales pueden ordenarse en árboles genealógicos o filogenéticos que reflejan una secuencia evolutiva. Además, pueden ser distribuidos en grupos en función de las características que comparten. Esto sugiere que cada grupo ha evolucionado de un antecesor común.

Cuando faltan fósiles en una serie evolutiva se habla de **eslabones perdidos**.

- **EL FENÓMENO DE LA ADAPTACIÓN.**

Los organismos presentan diversos medios para adecuar óptimamente su existencia al medio en que viven, lo que les permite sobrevivir en él. Se dice entonces que los seres vivos están adaptados a su ambiente.

La evolución demuestra que los organismos han tenido que readaptarse reiteradas veces, cuando cambiaba su ambiente o emigraban hacia un nuevo territorio. Quienes no lo hicieron se extinguieron.

Aunque todos los individuos pueden hacer ajustes fisiológicos para adecuarse a las fluctuaciones del entorno, estos ajustes no son heredables. La adaptación se debe considerar como los cambios heredables de los caracteres que permiten la supervivencia de los individuos y las poblaciones, por su adecuación a las variaciones ambientales. La acumulación de cambios adaptativos puede llevar a la especiación. Ello ha permitido definir la **evolución** como la suma de las adaptaciones, ya que esta es un proceso inevitable en las poblaciones de organismos.

Debido a la competencia por el alimento y el territorio, existe una tendencia en las poblaciones a expandirse, ocupando aquellos nuevos hábitats y nichos en los que aquella no exista. Esta evolución a partir de una especie primitiva se denomina **radiación adaptativa**.

También ha ocurrido que, en respuesta a demandas del medio, muchos animales han desarrollado estructuras similares en forma y función. A este proceso se le denomina **evolución convergente** y a las estructuras análogas.

Se reconocen tres grandes tipos de adaptaciones:

- **Adaptaciones estructurales** que implican adecuaciones morfológicas a cierta forma de vida. Por ejemplo, los canguros arborícolas actuales, que provienen de sus antepasados terrestres, conservan aún la adaptación al salto, de manera que deben trepar a los árboles abrazándose al tronco como los osos.
- **Adaptaciones fisiológicas** (o bioquímicas) que pueden implicar: aparición de una nueva enzima, adquisición del control de la temperatura temporal, acorte de un periodo vital, adquisición de un periodo de letargo o hibernación, capacidad de emigración.

Como ejemplo, vemos a los koalas que se han adaptado para comer eucalipto que es venenoso.

- **Adaptaciones cromáticas.** Se reconoce una coloración protectora, o de ocultación, en muchos animales que les permite pasar desapercibidos a sus depredadores confundiendo con el entorno. La coloración de advertencia, que implica colores brillantes, es propia de animales venenosos, o de mal sabor, que avisan así de su peligro a potenciales depredadores. Finalmente el mimetismo consiste en la semejanza de un organismo con otro, como advertencia (ofidios inofensivos que imitan a venenosos) u ocultación (insectos palo).

### **Un enfoque pluralista de la adaptación.**

En la actualidad hay quien opina que algunos caracteres de los organismos no son adaptativos, sino fruto del **azar**, y que por lo tanto, su existencia no se debe a la selección natural, sino a la ganancia o pérdida aleatoria de caracteres genéticos en la población, dado que algunos individuos mueren o viven por azar y, en consecuencia, sus células sexuales no participan en la fecundación o lo hacen mayoritariamente.

En todas las poblaciones hay individuos bien adaptados que pueden morir accidentalmente, mientras que otros menos adaptados escapan a la muerte por azar. Los caracteres de las generaciones posteriores reflejarán estos acontecimientos accidentales.

### **• EVOLUCIÓN DE LAS FORMAS DE VIDA EN LA TIERRA.**

Se considera a los protozoos ciliados como los ancestros de los animales, a las algas verdes flageladas como antecesoras de las plantas, y a los protocistas conjugantes de los hongos.

Al inicio del Paleozoico los vegetales vivían en los mares, representados tanto por formas unicelulares como pluricelulares. Se conocen fósiles de algas macroscópicas de hace 1000 millones de años.

La evolución de los vegetales en tierra transcurrió en el sentido de la adquisición de tejidos y órganos diferenciados, con especialización del sistema vascular, hasta desarrollar raíces, tallos y hojas. En cuanto a la reproducción, se alcanzó la fecundación independiente del medio líquido.

Los primeros animales pluricelulares, de cuerpo blando, aparecieron hace unos 600 millones de años. Al organismo ancestral se le supone una forma pluricelular, dotado de cilios, de flagelos, o de ambos, con capacidad de reproducción sexual y cuyo crecimiento corporal se realizaba por mitosis. Su diferenciación celular sólo incluiría tres tipos de células. Alimenticias (fagocitarias), corporales (vegetativas) y reproductoras (gametos).

Hasta el periodo Ordóvico todos los organismos animales eran marinos. El agua les brindaba oxígeno para la respiración, permitía el equilibrio hídrico celular, hacía fácil la locomoción y era el medio en el que se unían los gametos (fecundación externa).

Los primeros vertebrados que aparecieron, en el Ordóvico y Silúrico, fueron peces sin mandíbulas y recubiertos de placas óseas. Mas tarde aparecieron los peces con mandíbulas, aletas pares y armadura ósea. De



ellos se originarían el resto de los peces y de un grupo de ellos los primeros anfibios.

Los primeros animales que colonizaron la tierra firme, fueron invertebrados del grupo de los escorpiones. Esto implicó un cambio en la forma de obtención de oxígeno: de la respiración acuática a la respiración aérea; junto a la adquisición de mecanismos para conservar el agua, como fue la gruesa cutícula de su exoesqueleto.

A principios del Devónico, una serie de adquisiciones evolutivas en algunas formas de vertebrados pisciformes, permitió su paso a la vida aérea. Además de adaptaciones para conservar agua, sus extremidades óseas les permitían sostener su propio peso lo que les capacitaba para desplazarse en tierra firme. Los primeros anfibios aparecieron en el Devónico y, como los actuales, aún necesitaban del agua para realizar sus puestas.

Los primeros vertebrados auténticamente terrestres fueron los reptiles, dado que inventaron la fecundación interna y el huevo lleno de vitelo, con cáscara impermeable al agua, que depositaban en tierra sin riesgo de que se secase. Tanto aves como mamíferos, evolucionarían de sendos grupos de reptiles durante el Mesozoico.

### • **TEORÍAS SOBRE EL ORIGEN DE LA HUMANIDAD.**

#### **La opinión de Lamarck.**

Lamarck, coherente con sus postulados transformistas, situó a los seres humanos como final del proceso evolutivo. Así afirmaba: Si algún tipo de mono, sobre todo el más perfecto, se vio forzado por las circunstancias a abandonar su vida arborícola, y si los individuos de esa especie tienen que dejar de usar los pies para agarrarse a las ramas durante varias generaciones, sirviéndose de ellos para andar, los cuadrúpedos tuvieron también que transformarse en bípedos. Esta nueva postura condujo a un mayor desarrollo de los sentidos y al perfeccionamiento del cerebro y del habla. Esta especie de tan elevadas facultades consiguió con ello ganar la supremacía sobre todos los demás seres vivos.

#### **Darwin y: *El origen de las especies.***

En esta obra, Darwin no entró directamente en el tema de la descendencia de la humanidad y sólo señaló de pasada que sus estudios podrían esclarecer el origen y la historia del ser humano. No obstante, de sus planteamientos se deducía que los seres humanos, como parte de la naturaleza, descendían de alguna forma anterior, que incuestionablemente era un animal.

Huxley, principal seguidor de las ideas de Darwin, entró en la polémica publicando su obra más importante: *El lugar del hombre en la naturaleza*. En ella, tras la revisión de todo lo que se conocía hasta el momento, afirmó premonitoriamente ... el hombre difiere menos del chimpancé o del orangután que estos de los monos inferiores.

#### **Darwin y: *El origen del hombre y la selección natural en relación con el sexo.***

En dicha obra aportaba datos científicos objetivos a la polémica especulativa que había desatado su primera obra. De esta manera replicaba a la generalizada aceptación del relato bíblico de Adán y Eva.

También este libro produjo escándalo y rechazo general. Postular que los humanos descendían de un antiguo miembro del subgrupo antropoide, hizo que su antiguo profesor de geología le acusara de embrutecer a la humanidad y sumir al género humano en el más profundo nivel de degradación en que nadie había caído...

Además incluso sus adeptos pedían pruebas. Objetivamente había diferencias entre los humanos y los antropoides; entonces ¿dónde estaban las formas intermedias? ¿cuál era el eslabón perdido?

Darwin no respondió a estas preguntas, pues para él era más importante la idea general del proceso evolutivo. El tiempo ha venido a darle la razón: hoy en día se conocen numerosas formas intermedias, es decir, muchos eslabones perdidos, y algunas de ellas pueden considerarse propiamente humanas.

### • **LOS PRIMATES.**

El término primate se refiere al grupo que engloba a los simios, los seres humanos y los seres primitivos, antepasados comunes de humanos y monos.

Los primates son un grupo muy reciente. Sus primeros fósiles conocidos se han encontrado en Montana (EE.UU.), en estratos de hace 70 millones de años. En esta época convivieron con los dinosaurios, cuya extinción se produjo 5 millones de años después.

Por entonces, un micromamífero insectívoro se adaptó a la vida arbórea, aprovechando las fuentes de alimento que le brindaba la expansión de los bosques de angiospermas.

El primer primate pudo ser *Purgatorius*. Este animal tenía hábitos nocturnos, era arborícola, omnívoro y cuadrúpedo, sólo pesaba 150 g y su aspecto debió ser parecido al de los actuales tupayas, formas semiterrestres de las selvas tropicales del sur y el sudeste de Asia.

No obstante, otro grupo de científicos cree que *Purgatorius* y sus congéneres norteamericanos y europeos no eran verdaderos primates. Según ellos, el origen de estos hay que situarlo en África y no en Norteamérica. Esta teoría ha sido apoyada por hallazgos recientes de restos fósiles en el norte de África.

Los **primeros primates** surgieron en un hábitat arbóreo, donde la selección natural favoreció los rasgos que permitían un mejor aprovechamiento de las fuentes alimenticias. Estos fueron:

- Posesión de manos prensiles.
- Perfeccionamiento del aparato visual en lo que respecta a la percepción de las distancias y a la captación del color.
- Capacidad para memorizar dónde podían encontrar las plantas comestibles.

La evolución favoreció las formas capaces de procesar mayor información, lo que implicaba cerebros de mayor volumen. Ello se reflejó en la complejidad del comportamiento, rasgo distintivo de los primates superiores y de los seres humanos.

Los primates actuales pueden englobarse en cuatro grandes grupos:

- Los **prosimios**, que conservan rasgos primitivos.
- Los **platirrinios**, monos de Sudamérica o monos del Nuevo mundo.
- Los **catarrinos**, monos africanos y asiáticos o monos del Viejo Mundo
- Los **antropomorfos** o simios superiores, grupo en el que están incluidos los seres humanos.

### Los primates fósiles.

**Hace unos 50 millones de años, los primitivos prosimios salieron de África, a través de conexiones que existían entonces entre los continentes, y una vez fuera de su lugar de origen protagonizaron una gran radiación evolutiva.**

Los **platirrinios** surgieron hace 40 millones de años, a partir de un grupo africano que, de forma todavía no clara, atravesó el océano Atlántico, llegó a Sudamérica y, al quedar aislado del resto de los primates, evolucionó independientemente.

Los primates que quedaron en África dieron lugar a los **catarrinos** y, más tarde a los **hominoideos** o monos antropomorfos (el grupo al que pertenecen los humanos).

Hace entre 20 y 14 millones de años, surgen en África los **hominoideos**, a partir del cual se originaron los ancestros de los grandes antropoides vivientes: orangután, chimpancé, gorila y homínidos.

Los primeros en separarse de este tronco común fueron los ancestros del orangután, mientras que el ancestro común del gorila, los chimpancés y los seres humanos hay que buscarlo en África en sedimentos de entre 14 y 8 millones de años.

En Namibia se han encontrado los restos de hominoideos, datados en unos 12 millones de años, que aportan las primeras evidencias fósiles de ancestros del grupo compuesto por chimpancé, el gorila y los seres humanos. Puede decirse que estos fósiles corresponden a uno de los eslabones perdidos que todavía faltaba por descubrir.

#### Clasificación de los Primates:

- **Prosimios:** Primates inferiores
  - Lemures
  - Aye-aye
- **Antropoides:** Primates superiores o simios
  - **Platirrinos:** con tabique plano y ancho que separa los orificios nasales, sola prensil, sin callosidades isquiáticas.
    - Monos aulladores
    - Monos araña
    - Titíes
  - **Catarrinos:** con orificios nasales externos juntos, nunca colas prensiles, con callosidades isquiáticas.
    - Mandriles
    - Macacos
    - Langures
  - **Hominoideos:** (Antropoides) Ausencia de cola.
  - **Póngidos:** grandes simios o monos antropomorfos.
    - Orangután
    - Gorila
    - Chimpancé
  - **Homínidos.**
    - **Australopitecinos:** homínidos fósiles
    - **Homíninos**
      - Especies fósiles del género Homo.

- Hombres y mujeres actuales (*Homo sapiens*).

## • **DEL PRIMATE AL HOMÍNIDO.**

Los **homínidos** son un grupo de primates no arborícolas que se desplazan permanentemente en posición vertical bípeda.

Esta posición condiciona la situación del agujero occipital en el centro de la parte inferior del cráneo. La columna vertebral presenta una curvatura lumbar en forma de S, la pelvis es más corta y ancha, hay un progresivo alargamiento de los huesos de las piernas, y el pulgar pierde su oponibilidad. El paladar tiene forma de U, los dientes de los homínidos son pequeños y los caninos han perdido sus misiones de defensa y ataque. El cráneo alberga un voluminoso cerebro. El tamaño de este ha ido incrementándose progresivamente en las especies más representativas de la evolución humana: desde 400 cm<sup>3</sup> en el *Australopithecus africanus*, uno de los primeros homínidos, hasta 1.230 cm<sup>3</sup> en *Homo sapiens sapiens*, que es la especie a la que pertenecen los seres humanos actuales.

Este aumento cerebral está en relación directa con una dieta alimenticia de alto contenido energético, ya que el cerebro es un órgano que gasta mucha energía. A la adquisición de esta dieta contribuyeron adaptaciones locomotoras y del aparato digestivo, y una mayor complejidad social.

### **Diferencias básicas entre humanos y antropomorfos.**

Los seres vivos nos diferenciamos de nuestros parientes más próximos, los simios antropomorfos, en tres características biológicas principales:

- Exclusiva forma de desplazamiento bípeda con el cuerpo erguido. Esta adaptación ha representado grandes cambios anatómicos, básicamente en la pelvis, pero también en el pie, en la base del cráneo y en la columna vertebral.
- Notable aumento del tamaño del cerebro. Sus 1.230 cm<sup>3</sup> de media contrastan con los 495 cm<sup>3</sup> del orangután y los 385 cm<sup>3</sup> del chimpancé común.
- Reducción del tamaño de las mandíbulas y de los dientes; destaca la disminución del tamaño de los caninos, que pierden su aspecto de daga, típico en los antropoides machos, para adquirir un tamaño similar al de los incisivos.

### **La adquisición del bipedismo.**

La primera adaptación de los homínidos – que es la que caracteriza al grupo –, favorecida por la selección natural, es la postura erguida y la locomoción sobre los dos pies o **bípeda**. Por tanto, esta adaptación precedió a la adquisición de un cerebro grande.

Se supone que se produjo un tipo de locomoción intermedia, como la de *Dryopithecus*, que se desplaza colgándose de las ramas de los árboles, a los que subía y bajaba con el tronco erguido, lo que se supone una preadaptación a la locomoción bípeda.

Al final del Mioceno, el enfriamiento de la Tierra se tradujo en una aridez en el continente africano, y muchas especies de antropomorfos no pudieron sobrevivir en las zonas abiertas de la sabana que se originaron y, como consecuencia de ello, se extinguieron. Sin embargo, este tipo de hábitat fue colonizado por los primitivos homínidos.

Numerosos restos fósiles confirman que hace 3,6 millones de años, los homínidos ya habían adquirido una posición erguida y una locomoción bípeda.

La forma de andar del ser humano precedió, al menos en 2 millones de años al desarrollo gradual del cerebro. La locomoción bípeda abrió el camino para que las manos pudieran fabricar y utilizar diferentes herramientas y objetos.

### • **LOS PRIMEROS HOMÍNIDOS: LOS AUSTRALOPITECINOS.**

La aparición de los primeros homínidos en África parece coincidir con una fase de enfriamiento y aridez que forzó la retirada de los bosques tropicales y la sustitución de estos por formaciones arboladas con grandes claros de matorral y sabanas. En aquella época se desecó el Mediterráneo, lo que permitió grandes intercambios de fauna entre África y Asia.

El homínido más antiguo, conocido hasta el momento, es el denominado *Ardipithecus ramidus* y por su antigüedad, 4,4 millones de años, se le supone muy cercano al último ancestro común de los seres humanos y el chimpancé.

*Ardipithecus ramidus* vivía en un medio forestal con masas de agua. El estudio de sus dientes indica que estaba adaptado a una dieta blanda a base de frutas, parecida a la del chimpancé actual.

#### **Los australopithecus afarensis.**

Los fósiles del *Australopithecus afarensis* tienen entre 3,4 y 3 millones de años de antigüedad.

Tenían dimorfismo sexual (el tamaño de los machos era mucho mayor que el de las hembras).

Presentaban una cara con hocico saliente y crestas óseas prominentes a lo largo de todo el eje del cráneo.

Su caja craneana era pequeña, conociéndose volúmenes incluso inferiores a la capacidad media de los chimpancés.

Su tórax tenía forma acampanada, en lugar de la forma de tonel característica del tórax de los seres humanos.

Su pelvis y extremidades inferiores ya tenían aspecto humano, lo que implica su disposición para la marcha bípeda.

Vivían en pequeños grupos, en zonas de sabana, cerca de masas de agua, y no se han encontrado restos de útiles asociados a ellos.

#### **Los australopithecus gráciles.**

Los australopithecus post-afarensis están representados por fósiles que presentan dos tendencias anatómicas en relación con la constitución ósea, fundamentalmente del cráneo y la mandíbula:

- la grácil (con una sola especie), y
- la robusta (con varias especies).

La única especie representante de la tendencia grácil es el *Australopithecus africanus*, que apareció en África hace 3 millones de años y se extinguió hace 2 millones de años.

El *australopithecus africanus* tenía una estatura de entre 1,30 y 1,40 m, un peso de unos 40 Kg y una capacidad craneana de entre 400 a 400 cm<sup>3</sup>.

Andaban erguidos y tenían la frente baja y la cara prominente.

## Los australopithecus robustus.

De la tendencia anatómica robusta se conocen tres especies:

- *Australopithecus robustus*. Alcanzaban los 130 cm de altura y los 60 Kg de peso.
- *Australopithecus boiseis*.
- *Australopithecus aethiopicus*.

Formaban grupos poco numerosos que llevaban una existencia itinerante en busca de agua y alimentos.

Eran vegetarianos.

## • LOS PRIMITIVOS HUMANOS: LA HUMANIZACIÓN.

Entre los 4 y los 1,5 millones de años coexistieron en África varias especies de homínidos. En un principio convivieron las diferentes especies de australopitecinos y, más tarde, las especies más modernas de australopitecinos y unos nuevos homínidos: las primeras especies del **género Homo**.

Con la invención del primer útil manufacturado –que será conservado–, resultado de un pensamiento conceptual, se inicia la humanización. Hace más de 2 millones de años, el *Homo habilis* fue capaz de fabricar los más sencillos utensilios de piedra conocidos: fue el primer humano.

Ello se debió al aumento del tamaño y complejidad de su cerebro.

### **Homo habilis.**

El primer representante de nuestro propio género es el *Homo habilis*, el *hombre hábil*. Junto a los fósiles se encontraron útiles de lascas de piedra, muy primitivos, a los que se ha denominado **industria olduvense**.

*Homo habilis* coexistió con *australopithecus robustus*. Para que esta coexistencia se produjera debieron de tener algún mecanismo de aislamiento etológico o ecológico.

Vivió aproximadamente entre los 2,5 y los 1,6 millones de años, momento en el que se extinguió. Con una altura de 1,5 m y unos 50 Kg de peso, su aparato locomotor era el de un bípedo habitual. Su cráneo redondeado tenía una capacidad de entre 600 a 800 cm<sup>3</sup>, netamente mayor que el del *australopithecus*.

Poseía cara con hocico saliente y marcado reborde supraorbital. Sus dientes eran similares a los humanos, adaptados a la trituración.

Debieron tener una dieta más diversificada que los *australopithecus*, e incluir entre sus alimentos animales muertos (carroña).

La aparición del género *Homo* coincidió con cambios climáticos que dieron lugar a una segunda fase de enfriamiento y aridez en África, lo que produjo nuevas extinciones de mamíferos y la aparición en el registro fósil de nuevas especies.

### **Homo ergaster.**

Entre los 1,8 y los 1,4 millones de años apareció en África un grupo de humanos, al que se denominó *Homo ergaster*, que ya presentaban una cara más moderna y un cerebro mayor que todos los homínidos que habían existido hasta el momento: entre 800 y 900 cm<sup>3</sup>.

Su estatura y plan corporal eran superiores a los *paranthropus* y *Homo habilis* y similares a los nuestros.

Se les supone un aumento de la sociabilidad que hizo que el grupo fuera más protector para sus miembros.

### **Homo erectus.**

*Homo ergaster* dio origen evolutivamente a ***Homo erectus***, un homínido que surgió hace aproximadamente unos 200.000 años.

Alcanzaban los 1,70 m de altura y tenían un cerebro grande, de 800–900 cm<sup>3</sup>, e incluso de hasta 1.100 cm<sup>3</sup> en los más modernos.

Su dentadura era claramente actual. Comparado con los seres humanos actuales, su cráneo era más alargado, su frente era baja y oblicua, y tenía un marcado reborde supraorbital. Su cara era prominente, con mandíbulas macizas y carecía de mentón.

Se propagó por África y salió de este continente hacia Asia y Europa.

### **Los avances tecnológicos de los *Homo erectus*.**

De los *Homo erectus* europeos y asiáticos hay numerosos restos fósiles. Sus útiles, muy abundantes, han sido denominados globalmente como **industria achelense**, que se caracteriza porque las hachas de mano tienen forma de lágrima.

Eran habituales comedores de carne.

Se han hallado restos de hogueras rodeadas de piedras y cabañas dentro de las cuevas que habitaban, lo que implica la adecuación del espacio dentro de sus habitáculos.

### **• EL HOMO ANTECESSOR.**

Una vez que el género *Homo* salió de África, la evolución humana tuvo como escenario los tres continentes: África, Europa y Asia.

En Atapuerca (Burgos) se han encontrado restos fósiles de ***Homo antecessor*** de hace unos 800.000 años, que prueban que en esa época Europa había sido ya ocupada por estos homínidos. Ellos fueron por tanto los primeros europeos.

La capacidad craneal de estos homínidos ya es superior a los 1000 cm<sup>3</sup>. Junto a los arcos superciliares muy marcados, la cara ya no era plana, presentaba relieves entre los que destacan uno pómulos muy marcados y una abertura nasal adelantada.

Se cree que *Homo antecessor* apareció en África hace un millón de años, evolucionando desde *Homo ergaster*. Desde allí vía Asia llegó a la península ibérica, donde evolucionó para originar a los neardentales, restos de los cuales se han encontrado en otro yacimiento de Atapuerca. En la población que se quedó en África, cuyos fósiles no han sido descubiertos se produjeron los procesos evolutivos que dieron lugar a los *Homo sapiens*.

### **• EL HOMBRE DE NEARDENTHAL.**

El ***Homo neardenthalensis*** (= *Homo sapiens neardenthalensis*), apareció en el Viejo Mundo hace 200.000 años y desapareció hace 35.000 años sin que se sepa la causa de su extinción.

Tenían un aspecto brutal, con hombros caídos, rodillas flexionadas y largos y poderosos brazos. A pesar del aspecto primitivo de su cabeza, con un cráneo más largo que los humanos actuales, este albergaba un cerebro de 1.400 cm<sup>3</sup>. Poseían una dentición similar a la nuestra, con grandes mandíbulas, un mentón débil, perfil prognato. Su frente estaba inclinada hacia atrás con el occipital abultado y contaba con un prominente reborde supraorbital.

### **Rasgos arcaicos y comportamiento moderno.**

El hombre de Neardenthal tenía un cuerpo robusto y una altura media de 1,65 m. La musculatura de manos, brazos, pecho, espalda y piernas estaba más desarrollada que en cualquier atleta actual.

Los raspadores de hoja, las hachas de mano o el punzón son algunos de los instrumentos confeccionados por el hombre de Neardenthal. A estos útiles se les agrupa tradicionalmente bajo el nombre de **industria musteriense** del paleolítico medio.

### **• EL DISCUTIDO ORIGEN DE LOS HUMANOS MODERNOS.**

El *Homo sapiens* (= *Homo sapiens sapiens*) apareció repentinamente en Europa durante la última glaciación, hace unos 40.000 – 35.000 años.

Esta especie tiene un cráneo globoso con una capacidad de 1.230 cm<sup>3</sup> y cara plana (sin prognatismo), con un mentón marcado, su frente es recta y carece de arcos supraorbitales prominentes.

Esta especie ya existía hace entre 120.000 años y 90.000 años en el Oriente Medio.

A los miembros europeos de esta especie (*Homo sapiens sapiens*), se les conoce con el nombre de **hombre de Cro-Magnon** y con ellos nació el denominado **arte rupestre**, que se manifestó en forma de:

- Un arte mural pinturas y grabados en las paredes de las cuevas, y
- Un arte mueble consistente en tallas de hueso o marfil y dibujos y grabados en plaquetas de piedra de pequeño tamaño.

### **Cronología del ser humano actual.**

- El descubrimiento de útiles musterienses junto a restos humanos modernos, rompe la relación de esta industria y los neardentales y de paso el paralelismo aceptado entre evolución biológica y evolución cultural.
- La datación precisa de los restos encontrados permitió rebajar la antigüedad de la humanidad actual hasta los 100.000 años (hasta ese momento se le atribuía una antigüedad de 40.000 años).
- Según lo dicho, los humanos actuales y neardentales habrían vivido en la misma zona desarrollando una misma cultura: la musteriense de Oriente Medio.
- Hoy en día, la idea más generalizada es que el *Homo sapiens sapiens* surgió en África entre hace 300.000 y 100.000 años.

### **Hipótesis sobre el origen del *Homo sapiens*.**

Hace 1,5 millones de años los homínidos salieron de África y se extendieron por el resto del Viejo Mundo. La pregunta es ¿dónde surgió el ser humano moderno? Existen tres hipótesis:



- **Modelo del candelabro o multirregional.**

La evolución hacia los *Homo sapiens* se produjo a la vez en los distintos puntos del planeta en los que vivían las poblaciones arcaicas procedentes de los *Homo erectus*.

- **Modelo del arca de Noé o modelo del origen único.**

El *Homo sapiens* surgió en África a partir de las poblaciones arcaicas africanas que evolucionaron en este continente durante cientos de miles de años, y fue recientemente cuando estos seres humanos modernos emigraron al resto de los continentes y sustituyeron a las poblaciones arcaicas establecidas en Asia y Europa.

- **Modelo de evolución reticulada.**

Este es un modelo intermedio entre los dos extremos que representan los modelos anteriores. Este modelo acepta, por un lado, la existencia de intercambio genético (cruces entre poblaciones) y por otro lado, la continuidad regional (evolución simultánea en los tres continentes).

Candelabro Arca de Noé Evolución reticulada

Europa África Asia Europa África Asia Europa África Asia

Homo sapiens

sapiens

Homo sapiens

arcaicos

Homo erectus

### **Los aportes de la biología molecular.**

La hipótesis más aceptada en la actualidad es la del arca de Noé, que ha sido reforzada por nuevos datos aportados por la biología molecular.

Según la biología molecular, el *Homo sapiens sapiens* surgió en África hace menos de 200.000 años. Además, las escasas diferencias existentes entre el ADN de la mitocondria, en un estudio realizado a un amplio grupo de mujeres procedentes de distintos puntos del planeta, indican que tenemos un origen africano común.

Los científicos la denominaron hipótesis de la Eva mitocondrial. Según esta hipótesis, Eva pertenecía a una población de seres humanos arcaicos, compuesta, probablemente, por unos 10.000 individuos que ocupaban un amplio territorio en algún lugar de África, y que más tarde se expandió por todo el planeta.

Posteriormente, se realizaron nuevas investigaciones, estudiando esta vez el ADN nuclear, esto es, los cromosomas. Para ello eligieron el cromosoma sexual Y, llegando a la conclusión que la humanidad moderna tuvo también un antepasado varón, que vivió en África hace entre 100.000 y 200.000 años, apoyando así la hipótesis de la Eva negra.

Otros estudios moleculares posteriores, trabajando con grupos sanguíneos en poblaciones amplias, de numerosos grupos humanos, en los cinco continentes vienen a confirmar nuestra descendencia de un grupo ancestral africano de hace unos 100.000 años.

Todos estos datos unidos a los hallazgos de nuevos restos fósiles, refuerzan el modelo del arca de Noé y la hipótesis de la Eva mitocondrial. Por ello en la actualidad se acepta que la emigración fuera de África fue muy reciente, y se debió realizar en los últimos 100.000 años, quizá hace únicamente 70.000 años.

### **ESQUEMA EVOLUTIVO.**

4,4 millones de años		<b>Ardipithecus ramidus</b>		Bípedo Cerebro < chimpancé Come fruta	
Entre 3,4 y 3 millones de años		<b>Australopithecus afarensis</b>		Presenta dimorfismo sexual Cerebro ð chimpancé Carnívoro	
3 m. años  Desaparecen hace 2 m. años	<b>Australopithecus gráciles</b>			<b>Australopithecus (paranthropus) robustus</b>	
	<b>Australopithecus africanus</b>	Estatura: 1,30–1,40 m.  Peso: 40 kg.  Capacidad craneal: 400–500 cm3  Omnívoros y carroñeros		<b>Australopithecus robustus</b>	Estatura: 1,60 m.  Peso: 60 kg.
	GÉNERO HOMO	Fabrica instrumentos		<b>Australopithecus boisei</b>	
2,5 m. años  Desaparecen hace 1,6 m. años	<b>Homo habilis</b>	Estatura: 1,50 m.  Peso: 50 kg.  Capacidad craneal: 600–800 cm3  Omnívoros y carroñeros		<b>Australopithecus aethiopicus</b>	
Entre 1,8 y 1,4 m. años	<b>Homo ergaster</b>	Estatura: 1,80 m.  Capacidad de hablar  Pelo sólo en cabeza			
1,8 m. años  Desaparecen hace 200.000 años	<b>Homo erectus</b>	Estatura: 1,70 m.  Capacidad craneal: 800–900 cm3  Cráneo alargado, frente huidiza, arco superciliar, cara prominente, sin mentón			
800.000 años	<b>Homo antecessor</b>	Capacidad craneal: 1000 cm3			

		Llegan a España desde África, vía Asia.			
	EUROPA			ÁFRICA	
200.000 años  Desaparecen hace 35.000 años	<b>Homo neardenthalensis</b>	Estatura: 1,65 m.  Capacidad craneal: 1.400 cm <sup>3</sup>  Muy fuertes  Problemas para hablar	200.000 años hasta la actualidad	<b>Homo sapiens</b>	Cráneo globoso  Capacidad craneal: 1230 cm <sup>3</sup>  Frente recta (inventó cosas)  Arte rupestre
			Hace 45.000 años	REVOLUCIÓN CULTURAL	Emigra a Europa

• **Las limitaciones de ser unicelular.**

Los **organismos unicelulares** son pequeños, su tamaño máximo no supera los 3 mm. Deben asegurarse un abastecimiento continuo de nutrientes que no retarde o paralice su metabolismo, y al mismo tiempo, deben poder librarse de los desechos tóxicos que se originan en su interior, para evitar su acumulación en el citoplasma.

Cuando un organismo consta de varias o muchas células se alcanza el nivel de **organización pluricelular**. Esta organización en la que un grupo de células actúa como una unidad integrada, otorga al conjunto celular una mayor independencia del medio, al permitirle reaccionar como un todo ante los cambios de éste.

En el nivel pluricelular, la mayor eficacia se alcanza cuando las células están diferenciadas y especializadas en realizar determinadas funciones, y existen mecanismos que coordinan y regulan sus actividades, de tal modo que se mantiene un equilibrio adecuado entre ellas.

• **Los seres unicelulares procariotas (con núcleo celular no envuelto por una membrana) y eucariotas (con núcleo verdadero o rodeado de membrana nuclear).**

La división entre seres vivos procariotas y eucariotas es la más grande que puede hacerse en los organismos unicelulares, ya que estos dos niveles de organización celular constituyen la mayor discontinuidad evolutiva que puede encontrarse en el mundo actual.

Son **procariotas** si el material genético (núcleo celular) no está rodeado de membranas que lo aíslen del resto de la célula. Esto ocurre en las bacterias y las algas verdeazuladas o cianobacterias.

Las células de los organismos **eucariotas** tienen el material genético separado del citoplasma mediante una doble membrana que constituye el núcleo. A este tipo celular pertenecen organismos unicelulares, como los protozoos, pero también las células que forman los seres vivos pluricelulares.

Los organismos procariotas aparecieron mucho antes que los eucariotas. Hace entre 2600 y 600 millones de años, las células procariotas dieron origen a las formas eucariotas.

Los organismos unicelulares se dividen en copias idénticas de sí mismos. El conjunto de descendientes idénticos constituye un **clon**. En algún momento, un grupo de clones debió permanecer unido en una masa única. Las células de la periferia quedaron expuestas al ambiente, en tanto que las del interior, protegidas por

la capa superficial, quedaban aisladas del entorno. La selección natural favorecería unidades funcionales de este tipo y así surgieron las **colonias**. A partir de ellas grupos de células se diferenciarían durante el desarrollo, especializándose en distintas funciones. Así aparecerían los organismos pluricelulares más complejos.

El mayor nivel de complejidad se alcanza en los vegetales y animales, con la aparición de los **tejidos**.

## LA TEORÍA CELULAR Y LA CÉLULA EUCARIÓTICA.

En el interior de las células tienen lugar numerosas reacciones químicas que les permiten crecer, producir energía y eliminar residuos. El conjunto de estas reacciones se llama metabolismo. Todas las células contienen información hereditaria codificada en moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN); esta información dirige la actividad de la célula y asegura la reproducción y el paso de los caracteres a la descendencia.

- **Aparato de Golgi.** Formado por conjuntos de membranas dispuestas en grupos de sáculos. Tiene funciones secretoras.
- **Diplosoma.** Está constituido por dos centriolos. Se sitúa cerca del núcleo rodeado por el aparato de Golgi. Interviene en los movimientos celulares y polariza la división celular.
- **Citoplasma.** Es una sustancia de relleno, rica en agua. Se sitúa por fuera del núcleo y rodeada por la membrana plasmática.
- **Citosol.** Conjunto del agua y de todas las sustancias solubles del citoplasma.
- **Citoesqueleto.** Parte del citoplasma compuesto por fibras. Dan forma a la célula y están relacionados con el movimiento celular.
- **Plastos.** Son exclusivos de los organismos autótrofos (que se nutren por sí mismos de alimentos minerales, sin necesidad de que estén elaborados por otros organismos, como las plantas con clorofila). Sintetizan pigmentos y acumulan sustancias de reserva.
- **Cloroplastos.** Son exclusivos de los organismos autótrofos. En ellos se sitúa la clorofila y es donde se realiza la fotosíntesis.
- **Endosoma (ðboca).** Vesícula membranosa que engloba los materiales capturados por endocitosis y se desplaza hacia el interior del citoplasma (materiales capturados en el medio externo y transportados hacia el interior de la célula).
- **Gránulo de secreción (ðano).** Vesícula cargada de sustancias fabricadas en la célula que se liberarán al exterior por exocitosis (fusión de las vesículas internas con la membrana plasmática seguida de la liberación de su contenido al medio externo)
- **Lisosoma (ðestómago).** Orgánulo membranoso esférico originado en el aparato de Golgi. Contienen enzimas y constituyen el aparato digestivo de la célula.
- **Membrana plasmática o celular.** Capa lipoproteica que aísla la célula del entorno y controla el intercambio de sustancias con el exterior.
- **Mitocondria (ðórgano energético).** Orgánulo bitembranoso que alberga una molécula de ADN circular. En ella se realiza la respiración celular.
- **Núcleo.** Habitualmente esférico y único, está limitado por una doble membrana llena de poros. Contiene la cromatina y el nucleolo situados en el nucleoplasma (medio líquido). El ADN del núcleo dirige la síntesis de proteínas y es el protagonista de la división celular.
- **Nucleolo.** Masa esponjosa y densa de ARN y otras moléculas. Siempre hay al menos un nucleolo.
- **Peroxisomas.** Estructuras esferoidales aisladas por membranas, que contienen enzimas capaces de transformar y degradar sustancias.
- **Retículo endoplasmático.** Conjunto de membranas que rellenan el interior del citoplasma. Delimitan cavidades cerradas que se comunican entre sí. Los hay de dos tipos: Si tiene ribosomas adheridos se denomina retículo endoplasmático rugoso (RER) y se encarga de la síntesis de proteínas y su exportación hacia el aparato de Golgi, y en caso contrario, se denomina retículo endoplasmático liso (REL) encargado del transporte, almacenamiento y síntesis de sustancias.
- **Ribosomas.** Orgánulos formados por dos subunidades macizas de ARN y proteínas. Intervienen en la

síntesis de proteínas. Además de libres en el citoplasma y sobre las membranas del RER, se encuentran en el interior de las mitocondrias y los cloroplastos.

- **Pared celular.** Característica de las células vegetales y fúngicas.
- **El origen de la pluricelularidad.**

El volumen y la superficie de una célula guardan relación matemática con la medida del radio celular. A medida que la célula aumenta de tamaño, disminuye la cantidad de su volumen que está en contacto con la membrana celular y con el entorno. Esta circunstancia pone límites al tamaño de los organismos unicelulares; para solucionar este problema, los organismos unicelulares desarrollaron la pluricelularidad.

Un excelente modelo para el estudio de los pasos intermedios entre unicelularidad y pluricelularidad lo ofrece un grupo de algas verdes coloniales, las clorofitas volvocales.

Los individuos de la colonia están unidos por cordones citoplasmáticos, hecho por el que se las puede considerar un organismo pluricelular. Cuando la colonia madura, algunas células de la mitad inferior se especializan en la reproducción asexual o sexual. Por esta especialización en células vegetativas y reproductoras, y por la aparición por primera vez en la escala evolutiva, de un cadáver –la colonia muerta–, se considera que este tipo de algas representa la transición a la vida pluricelular.

- **Del Talo a los tejidos.**

Se denomina **talo** al nivel estructural constituido por una masa de células idénticas, entre las que se establecen conexiones citoplasmáticas, pero que no llegan a constituir tejido y órganos especializados. Morfológicamente, sin embargo, esta estructura puede presentar partes diferenciadas.

Se denominan **protofitos** a los organismos unicelulares y **talofitos** a los pluricelulares que tienen esta estructura.

Los talos pueden ser filamentos de células, estar constituidos por varias capas celulares, presentarse como aglomeraciones pluriestratificadas de células que recuerdan la estructura de un tejido o incluso tener una incipiente diferenciación en tejidos auténticos.

Una de las tendencias evolutivas básicas, que se observan tanto en las plantas como en los animales, es la progresiva diferenciación celular. Esta implica la especialización u la distribución del trabajo fisiológico de las células que constituyen el organismo, lo que permite a este una mayor adaptación al ambiente.

El conjunto formado por aquellas células que cumplen misiones similares o relacionadas u la sustancia intermedia que las une se denomina **tejido**. Ejemplos de tejidos son los tejidos óseo, muscular o nervioso en los animales.

### **Organos y sistemas.**

Se denominan **órganos** a los grupos de tejidos que combinan sus actividades para funcionar como una unidad.

Un **sistema** o **aparato** es un conjunto de órganos que tienen funciones muy relacionadas y están especializados en realizar una amplia misión corporal.

- **El Corno: los tejidos vegetales.**

Durante el proceso evolutivo, los organismos autótrofos pluricelulares adquirieron dos adaptaciones fundamentales para lograr establecerse en tierra firme:

- Unos **sistemas de aislamiento** con los que evitar la pérdida de agua.
- Unos **mecanismos que condujeran el agua y los nutrientes** hasta la parte aérea. Estas adquisiciones dieron origen a las **plantas vasculares**, y la especialización de tejidos que las acompañó favoreció la aparición de un nivel de organización llamado **cormo**.

La **estructura cormofítica**, máxima respuesta adaptativa a la vida terrestre de los organismos autótrofos, se compone de tres órganos básicos: **raíz, tallo y hojas**.

- **El Cormo: los tejidos vegetales (Continuación).**

## **TEJIDOS VEGETALES.**

Los tejidos vegetales típicos suelen clasificarse, atendiendo a su origen y su función, en:

- **Tejidos embrionarios o Meristemos**

Son tejidos exclusivos de las plantas vasculares. Están encargados del crecimiento, ya que sus células presentan una permanente capacidad de división y especialización.

Se clasifican, en función del momento en que actúan y de su situación en la planta:

- **Meristemos primarios o apicales** proceden directamente de células embrionarias, se sitúan en los extremos de la raíz y el tallo, y **determinan el crecimiento en longitud** de la planta.
- **Meristemos secundarios o laterales** se originan a partir de células adultas que recuperan su capacidad de división. Se localizan en posición lateral en los órganos que los presentan y hacen que estos crezcan en grosor. Se distinguen dos:
  - **El cámbium**, fabrica vasos de sabia.
  - **El felógeno o cámbium suberoso**, fabrica corcho
  - **Tejidos definitivos o adultos.**
  - **Parénquimas**

Constituyen los tejidos de relleno de la planta. Sus células tienen el menor grado de especialización de todos los tejidos adultos. Dependiendo de su función se distinguen cinco tipos:

- El **parénquima clorofílico o fotosintético** se encuentra en todas las partes verdes de la planta. Lo constituyen células con gran cantidad de cloroplastos, cuya misión es realizar la fotosíntesis.
- El **parénquima de reserva** está formado por células especializadas en almacenar sustancias necesarias para la planta. Se sitúa en los órganos no expuestos a la luz.
- El **parénquima aerífero o aerénquima** se caracteriza por presentar grandes huecos intercelulares, por los que se transportan y en los que se acumulan gases. Es característico de las plantas acuáticas.
- El **parénquima acuífero** está constituido por células adaptadas al almacenamiento de agua. Se localiza en las zonas interiores del tallo y en el seno de las hojas de las plantas propias de lugares o climas secos.
- El **parénquima conductor** lo forma el conjunto de células de relleno que se disponen entre los vasos conductores de savia.

- Tejidos protectores.

Su misión es cubrir y proteger la superficie exterior de la planta. Se distinguen cuatro tipos:

- La **epidermis**. Es una capa de células continua y generalmente única, que cubre el cuerpo de la planta. Sus células carecen de cloroplastos.
- La **exodermis**.
- La **endodermis**.
- El **suber**. Se origina por la acción del felógeno y sustituye a la epidermis en los troncos y las raíces añosas. Sus células, muertas y llenas de aire, se disponen unas junto a otras sin dejar espacios entre sí, de tal modo que constituyen un tejido impermeable al agua y a los gases. El suber es también un tejido de cicatrización.

- **Tejidos mecánicos (o de sostén).**

Aseguran un nivel de resistencia continuo a los órganos adultos. Se distinguen dos tipos:

- El **colénquima**. Está constituido por un solo tipo de células vivas, alargadas, con cloroplastos y con paredes engrosadas no homogéneamente. Proporciona resistencia y elasticidad frente a las flexiones y los aplastamientos.
- El **esclerénquima** es el tejido de resistencia mecánica de los órganos adultos que ya han dejado de crecer. A diferencia del colénquima, presenta células con paredes muy gruesas y duras, que mueren al hacerse adultas. Presenta dos tipos celulares: las **fibras** y las **células pétreas** o **esclereidas**.

- **Tejidos conductores.**

Son los tejidos más complejos de la planta. Sus células presentan el mayor grado de diferenciación de todos los tejidos vegetales y están especializadas en el transporte de soluciones nutritivas a través del cuerpo de la planta. Se distinguen dos tipos:

- El **xilema, tejido leñoso** o **leño** es el tejido conductor de agua y sales minerales disueltas (savia bruta) de las plantas. Se distinguen un **xilema primario** formado a partir de los puntos de crecimiento de tallos y raíces; y un **xilema secundario** formado por la división de las células del cámbium, situado entre el xilema y el floema.

En los vegetales leñosos el xilema viejo deja de participar en el transporte y se convierte en un tejido de sostén del vegetal en crecimiento: la madera.

- El **floema, tejido criboso, tejido liberiano** o **liber** es el tejido encargado del transporte de las sustancias sintetizadas en la fotosíntesis (savia elaborada) y de su reparto por todos los órganos de la planta. Se distingue un **floema primario**, formado a partir del meristemo inicial y un **floema secundario**, originado por la actividad del cámbium durante el crecimiento en grosor.

Este tejido presenta varios tipos de células: **elementos cribosos, células acompañantes, parénquima, fibras** y **escleridas**.

- **Tejidos secretores.**

Son grupos de células dispersas en el seno de otros tejidos, que elaboran sustancias inútiles para el vegetal, a las que se considera productos de excreción. Estas sustancias pueden ser expulsadas al exterior o depositarse en vacuolas.

Los más importantes son:

- Los **tubos laticíferos** son conjuntos de células asociadas en tubos. Presentan numerosas vacuolas llenas de un **latex** blanquecino a presión formado.
- Los **conductos resiníferos** son tubos que recorren toda la planta y a los que vierten su secreción células glandulares.
- Las **bolsas o cavidades lisígenas**.
- Las **células glandulares**.
- **Tejidos animales**.
  - Se asocian entre sí para originar los distintos órganos y sistemas.
- **Tejidos epiteliales**. Se distinguen dos tipos:
- **Epitelios de revestimiento**. Recubren superficies exteriores e interiores del cuerpo. Constituidos por una capa continua de células sin vasos sanguíneos y descansa sobre una membrana basal de naturaleza conjuntiva. Atendiendo a la forma y disposición de sus células se distinguen:
  - **Epitelios planos**. Constituidos por células aplastadas. Recubren la superficie de la piel, el esófago, la mucosa bucal, la vagina y los conductos de algunas glándulas.
  - **Epitelios planos monoestratificados**. Las células se disponen en una sola capa.
  - **Epitelios planos pluriestratificados**. Las células se disponen en varias capas.
  - **Epitelios cilíndricos**. Formados por células prismáticas. Recubren el interior de la tráquea de los vertebrados, gran parte del sistema respiratorio y el intestino. Se distinguen según la forma y la disposición de sus células:
    - **Epitelio cilíndrico monoestratificado**. Las células se disponen en una sola capa.
    - **Epitelio cilíndrico pluriestratificado**. Las células se disponen en varias capas.
    - **Epitelio cilíndrico seudoestratificado**. Aparentemente hay más de una capa de células debido a que sus núcleos se encuentran a distintos niveles, pero en realidad, hay una sola capa.
- **Epitelios glandulares**. Especializados en la secreción de distintos tipos de sustancias como mucus, sudor, cera o leche. Sus células quedan agrupadas tras el crecimiento de un cordón celular en el tejido subyacente.
  - **Glándulas exocrinas**. Cuando la masa de células dispone de un conducto (también epitelial) que las une y mediante el cual se conectan con la superficie.
  - **Endocrinos**. Cuando la masa de células vierte su secreción directamente a los capilares sanguíneos.
- **Tejidos conectivos**. Están constituidos por un número muy reducido de células y una gran cantidad de



sustancia intercelular no viviente, compuesta por una matriz y tres tipos de fibras:

- **Fibras colágenas.** Formadas por la proteína más frecuente en el organismo de los mamíferos: el **colágeno**. Son flexibles pero no elásticas.
- **Fibras elásticas.** Formadas por una proteína llamada **elastina**. Son muy elásticas.
- **Fibras reticulares.** Formadas por una proteína llamada procolágeno. Poco elásticas y resistentes a la tracción.

Los tejidos pertenecientes al grupo de los tejidos conectivos son:

- **Tejido conjuntivo.** Su misión es de protección y unión de otros tejidos y órganos, y es la vía por la que acceden a estos los nervios y los vasos sanguíneos. Los tejidos conjuntivos más abundantes son:
  - **Tejido conjuntivo laxo.** Rellena espacios, es la base sobre la que se asientan los epitelios, rodea los vasos sanguíneos y linfáticos, y se encuentra en la piel, las mucosas y las glándulas. Las células más abundantes son los **fibrocitos** y los **histocitos**. Posee fibras colágenas elásticas y reticulares. Es un tejido delicado flexible y poco elástico.
  - **Tejido conjuntivo denso.** Formado por los mismos elementos que el laxo, pero con mayor porcentaje de fibras colágenas. Se encuentra en la dermis profunda, la córnea, las cápsulas de los órganos y sobre todo en los tendones. Es compacto, resistente a las tracciones y poco flexible.
  - **Tejido conjuntivo elástico.** Compuesto por gruesos haces de fibras elásticas separadas por tejido conjuntivo laxo. Forma los ligamentos amarillos de la columna vertebral y las membranas elásticas de la tráquea, los bronquios y las arterias.
- **Tejido cartilaginoso.** Posee consistencia rígida debido a la abundante sustancia intercelular amorfa, sólida, elástica y tenaz que presenta su composición. Actúa como soporte o revestimiento de las superficies articulares. Sus células constituyentes son los **condrocitos**. **Existen tres tipos de cartílago:**
  - **Tejido cartilaginoso hialino.** Tiene pocas células y cierta cantidad de fibras colágenas. Se encuentra en el tabique nasal, los cartílagos de las costillas, los anillos traqueales, los bronquios y casi todo el cartílago laríngeo.
  - **Tejido cartilaginoso elástico.** Posee gran cantidad de fibras de elastina. Forma parte de la epiglottis y del cartílago de la oreja.
  - **Tejido cartilaginoso fibroso.** Presenta una matriz compuesta casi exclusivamente por fibras colágenas. Forma los discos intervertebrales, la sínfisis del pubis y los meniscos.
- **Tejido adiposo.** Parecido al conjuntivo laxo, con la diferencia que en él predominan las células adiposas o **adipocitos**. Estas células se caracterizan por almacenar grasas neutras en una voluminosa gota, o en numerosas gotas pequeñas. Constituye el tuétano (médula amarilla de la caña de los huesos largos).
- **Tejido óseo.** Es el más resistente de todos los tejidos conjuntivos, debido a que su sustancia intercelular –matriz ósea– se calcifica. Presenta tres tipos de células:
  - Los **osteocitos** se sitúan en cavidades o lagunas de la matriz.
  - Los **osteoblastos** forman la parte orgánica de la matriz (encargados de construir el hueso).
  - Los **osteoclastos** se encargan de la destrucción de la sustancia ósea.

Se distinguen dos tipos de tejido óseo o hueso:

- **Hueso compacto.** Es denso, duro y carece de cavidades en su matriz. Consta de la capa exterior de los huesos.
- **Hueso esponjoso o reticular.** Presenta una red de delgadas trabéculas que comunican numerosas cavidades rellenas de médula ósea.
- **Tejido sanguíneo.** Es un tejido conjuntivo muy especializado, con una sustancia intercelular líquida llamada **plasma**. Sus corpúsculos son:
  - **Glóbulos rojos (eritrocitos o hematíes).** Se forman continuamente en la médula roja de los huesos.
  - **Glóbulos blancos.** Pueden ser de cinco clases: neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos y monocitos.
  - **Plaquetas.** Son fragmentos anucleados de citoplasma desprendidos de los megacariocitos, células gigantes de la médula ósea.
- **Tejidos musculares.** Es el responsable de los movimientos del cuerpo. La característica principal de sus células es la de ser capaces de contraerse. Sus fibras musculares son alargadas y engloban una gran cantidad de fibrillas formadas por miofilamentos de proteínas contráctiles, fundamentalmente **actina** y **miosina**. La contracción muscular se realiza por el deslizamiento de los filamentos finos de actina a lo largo de los filamentos gruesos de miosina.

Según la morfología y el funcionamiento de sus células se diferencian en tres tipos:

- **Tejido muscular liso.** Formado por células fusiformes uninucleadas. Su contracción es **lenta**, rítmica e **involuntaria**. Se encuentran en los bronquios, las venas, las arterias, el estómago, el intestino, el útero y rodea las glándulas mamarias y salivares y la vejiga urinaria.
- **Tejido muscular estriado o esquelético.** Tiene una contracción **rápida**, arrítmica y **voluntaria**. Sus células son cilíndricas, muy largas y multinucleadas. Se encuentra en los músculos esqueléticos.
- **Tejido muscular cardíaco o miocardio.** Tiene una contracción **rápida**, rítmica e **involuntaria**. Se encuentra sólo en el corazón.
- **Tejido nervioso.**
- **La materia de los seres vivos.**

#### **Los átomos de los seres vivos. Bioelementos.**

Sólo 27 de los más de cien elementos que están en el sistema periódico han sido identificados en los seres vivos. Cuatro de estos elementos, concretamente C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno) y N (nitrógeno) constituyen el 99% de la masa de las células. Junto al P (fósforo) y el S (azufre), forman las moléculas complejas de la materia orgánica. El resto está presente en compuestos inorgánicos o como iones en el medio acuoso celular (oligoelementos).

#### **Los compuestos de los seres vivos. Biomoléculas.**

Los principios inmediatos pueden ser:

- **Inorgánicos.**

- Agua.
- Sales minerales.
- Como sustancias sólidas.
- Como iones.
- **Glúcidos (hidratos de carbono).**
- Monosacáridos
- Disacáridos
- Polisacáridos.
- **Lípidos (grasas).** Insolubles en agua.
- **Proteínas.** Muy activas y están presentes en todas las funciones celulares. La función de una proteína depende de su forma, y esta de la secuencia en que se dispongan los aminoácidos que las componen.
- **Ácidos nucleicos.** Son cadenas largas, generalmente lineales, formadas por eslabones llamados **nucleótidos** En función de las bases y del monosacárido que los componen, los ácidos nucleicos pueden ser: **ADN (ácidos desoxirribonucleicos)** o **ARN (ácidos ribonucleicos)**. El ADN es la molécula portadora de la información genética. Los genes son fragmentos de ADN que contienen la información necesaria para formar una proteína. Una característica biológica depende de la función de una proteína, y esta función depende a su vez del orden de los aminoácidos determinado por el orden de los nucleótidos de un gen (ADN). Esta es la transcendencia del código genético, el código que traduce el lenguaje de los nucleótidos a un lenguaje de aminoácidos. En la traducción intervienen distintos tipos de ARN.

- **Materia, energía y seres vivos.**

El mantenimiento de la vida requiere un aporte continuo de energía. En muchos casos ésta se obtiene de transformaciones de la materia.

En los seres vivos se están produciendo continuamente procesos químicos de oxidación (cambio químico en los que una molécula pierde electrones y se produce energía) y reducción (cambio químico en los que una molécula gana electrones), gracias a los cuales se mantienen las complejas estructuras vivas y las funciones vitales. Los combustibles son las moléculas orgánicas obtenidas en último término de los alimentos o, en otros casos, mediante procesos de elaboración propia, o gracias a la energía procedente del exterior, por ejemplo del Sol. Las maquinarias que hacen posible estas complejas transformaciones están en las células.

- **Transformaciones químicas en las células. El metabolismo.**

Los compuestos químicos que entran en un ser vivo llegan más o menos transformados a las células. A partir de ese momento, los compuestos que han entrado en la célula son utilizados por ésta para:

- Obtener la energía química necesaria para realizar las funciones celulares.
- Construir los componentes propios de la célula.

Todo este proceso se compone de numerosas reacciones químicas encadenadas cuya suma total constituye el

**metabolismo**, que es el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en la célula.

Las reacciones químicas que ocurren en las células presentan una serie de características comunes:

- Todas las reacciones químicas celulares son reacciones catalizadas por **enzimas**. Los catalizadores son moléculas que ayudan a que la reacción sea realmente posible. Aumentan una velocidad de reacción que sería casi nula de no estar presente el catalizador: la reacción no se produciría de hecho. Los catalizadores no se consumen en la reacción, se recuperan indefinidamente.

Los enzimas son proteínas especializadas en controlar una reacción concreta. Cada reacción esta catalizada por un enzima específico.

- Las rutas metabólicas, especialmente las centrales, son semejantes en todos los seres vivos. Una bacteria obtiene energía a partir de una molécula orgánica, como la glucosa, de una forma muy semejante a como lo hace una célula del músculo.

Las necesidades celulares varían según el tipo de reacciones químicas que la célula pueda realizar, según los enzimas que posea. Se utilizan dos criterios para clasificar las células en función de sus necesidades:

- Según la naturaleza química del carbono que requieren, las células pueden ser:
  - **Autótrofas**. Emplean el CO<sub>2</sub> como fuente de carbono. Son las células de plantas y algunas bacterias.
  - **Heterótrofas**. Necesitan tomar del entorno carbono de forma reducida, o sea, que su fuente de carbono la constituyen moléculas orgánicas. Son las células de los animales y de la mayoría de los microorganismos.
- Según la fuente de energía que necesitan, las células se clasifican en:
  - **Fotótrofas**. Utilizan la luz como fuente de energía para producir materia orgánica.
  - **Quimiótrofas**. Obtienen la energía que se desprende en reacciones químicas de oxidación–reducción.
- **Ciclo energético de las células. Catabolismo y anabolismo.**

Una célula es capaz de producir –sintetizar– determinadas moléculas, pero también puede descomponerlas en unidades más sencillas para obtener energía. La continuidad entre los procesos de construcción y destrucción da forma al ciclo energético de las células.

Esta continuidad se debe sobre todo a la existencia de la **molécula de ATP**. En los procesos en los que se obtiene energía, esta se conserva en forma de ATP, que se utiliza donde se requiere el aporte de energía. El metabolismo incluye dos procesos: el destructivo para obtener energía de la molécula de ATP y el constructivo para sintetizar moléculas orgánicas, que requiere energía. Se distingue de este modo:

- **Catabolismo (proceso destructivo)**: Oxidación enzimática de moléculas de mayor tamaño y más reducidas a moléculas más sencillas y oxidadas, acompañada de liberación de energía, que se conserva en forma de ATP.
- **Anabolismo (proceso constructivo)**: Síntesis enzimática de moléculas grandes y reducidas a partir de otras más simples, con admisión de energía proporcionada por el ATP.

- **FUNCIONES DE NUTRICIÓN. CONCEPTO Y TIPOS.**

Las funciones de nutrición incluyen todas las que contribuyen a incorporar los nutrientes a cada célula; desde que ingresa el alimento hasta que se eliminan los productos de deshecho metabólico.

Los materiales procedentes del medio externo se utilizan para construir la propia estructura y como fuente de energía para el mantenimiento (metabolismo).

La nutrición incluye las siguientes funciones:

- **Captura y selección del alimento** (animales).
- **Digestión** : Tratamiento de los nutrientes antes de su incorporación a las células (animales).
- **Absorción e intercambio de gases**: Entrada de sustancias en el medio interno de los animales y en los tejidos vegetales.
- **Distribución**: Transporte de sustancias a las células a través de tejidos conductores (vegetales) o por medio del sistema circulatorio (animales).
- **Utilización**: Producción de estructuras y energía. Metabolismo.
- **Excreción**: Eliminación de productos de deshecho del metabolismo (es importante no confundir la excreción con la eliminación de productos de la digestión o defecación)

En función de la procedencia de los materiales, los tipos o modelos de nutrición serán:

- **Autótrofa**: Propia de organismos que son capaces de sintetizar compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos.

Son autótrofos algunas bacterias, algas unicelulares y las plantas.

- **Heterótrofa**: Propia de organismos que no son capaces de sintetizar compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos, por lo que han de extraer del entorno la materia orgánica.

Son heterótrofos numerosas bacterias, algas unicelulares y todos los hongos y animales.

- **NUTRIENTES ESENCIALES.**

Aunque los animales poseen una cierta capacidad de síntesis orgánica, es necesario que reciban del exterior algunas sustancias específicas:

- **Agua.**
- **Sales minerales.**
- **Compuestos orgánicos:**
- **Aminoácidos esenciales.**
- **Ácidos grasos esenciales.**
- **Vitaminas.**

La capacidad para sintetizar compuestos orgánicos a través del metabolismo es suficiente para construir todos los demás componentes sin necesidad de tomarlos del exterior.

Estos requerimientos imprescindibles o **nutrientes esenciales** pueden ser diferentes según las especies. Esto dependerá de la capacidad para producir determinados enzimas, o sea, de la constitución genética.

Los organismos fotosintéticos (vegetales, por ejemplo) necesitan:

- **Luz.**
- **Agua.**
- **Sales minerales.**
- **Dióxido de carbono.**

## • **ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN VEGETALES.**

### **Absorción de CO<sub>2</sub>**

A través de las hojas.

### **Absorción de sales.**

Se postulan dos procedimientos de entrada:

- **Transporte activo:** absorción de sales a través de la raíz con gasto de energía.
- **Efecto Donnan:** Los iones tienen a almacenarse donde hay proteínas cargadas con signo opuesto.

### **Absorción de agua.**

Influyen los siguientes factores:

- **Contenido en agua del suelo.** El aumento de la cantidad de agua del suelo supone un incremento de la absorción.
- **Concentración de solutos del suelo.** El aumento de la concentración de sales disminuye la absorción.
- **Temperatura.** El aumento de temperatura implica un aumento de absorción.
- **Aireación (contenido de O<sub>2</sub>) del suelo.** La aireación del suelo permite un mayor desarrollo de las raíces y, por lo tanto, un incremento de la absorción.

El agua penetra en la raíz por simple difusión, y de la raíz pasará al xilema mediante transporte activo, con gasto de energía por parte de las células.

El agua y las sales que han ingresado en la planta a través de la raíz constituyen la savia bruta, que será transportada por los vasos leñosos (xilema) hasta las hojas.

## • **TIPOS DE NUTRICIÓN HETERÓTROFA.**

Según la forma en que obtienen la materia orgánica los organismos heterótrofos podrán ser holozoicos, saprobios o parásitos.

- **Nutrición holozoica.** Propia de los organismos que se nutren por captura o ingestión directa de otros seres vivos.

Son los:

- **Carnívoros**, que se alimentan de animales.
- **Hervíboros**, que se alimentan de vegetales.
- **Omnívoros**, que utilizan ambas fuentes de alimentos.
- **Nutrición saprofita.** Es la que presentan los organismos que se nutren de restos animales o vegetales que ellos descomponen. Es la forma de nutrición de muchos hongos y bacterias.
- **Nutrición parásita.** Es la que presentan aquellos organismo que obtienen directamente los nutrientes de los tejidos del organismo vivo parasitado, por lo que no necesitan de aparato digestivo o lo tienen muy reducido.

## • **CAPTURA, SELECCIÓN E INGESTIÓN DEL ALIMENTO.**

En los vertebrados, la actividad del animal influye en la cantidad de alimento que ingiere. El control de esta

cantidad se lleva a cabo por dos mecanismos:

- Contracciones de hambre del estómago.
- Actividad de los centros nerviosos del hipotálamo, situado en el encéfalo: centro de la saciedad y centro del apetito.

Los centros nerviosos reciben información, a través de receptores, sobre la concentración en sangre de nutrientes como la glucosa, por ejemplo, y se produce como respuesta la sensación de apetito o saciedad.

### • **DIGESTIÓN. TIPOS DE APARATOS DIGESTIVOS EN INVERTEBRADOS.**

La digestión es la transformación de los alimentos en moléculas que puedan ser absorbidas por el medio interno de los animales.

Existen dos tipos de digestión dependiendo de la complejidad fisiológica de los animales:

- Digestión intracelular. Si el medio interno no está desarrollado, la digestión tiene lugar principalmente dentro de las células.

Los espongiarios y los protoctistas realizan una digestión intracelular.

- Digestión extracelular. Cuando la complejidad fisiológica del animal logra un medio interno mas constante, la superficie de intercambio que debe servir para la entrada de nutrientes se invagina y pliega dando lugar a un largo tubo a través del cual se produce la transformación del alimento en sustancias absorbibles; la digestión entonces se lleva a cabo en el aparato digestivo.

Los celentéreos tienen inicialmente una digestión extracelular, aunque la mayor parte transcurre en las células.

Los anélidos y moluscos realizan una digestión extracelular.

La digestión extracelular es evolutivamente más ventajosa que la intracelular, puesto que los enzimas se distribuyen a lo largo del tubo digestivo de manera que el proceso se realiza paulatinamente.

A lo largo de la evolución se observan una serie de tendencias generales que adquieren su máxima expresión en los vertebrados:

- La digestión se hace progresivamente más extracelular.
- Aumenta la regionalización del tubo digestivo, lo que supone una digestión más gradual y eficaz, puesto que distintas regiones del tubo digestivo se especializan en diferentes funciones.
- Aparecen glándulas digestivas que vierten enzimas en determinados puntos del tracto digestivo y contribuyen así a la digestión paulatina.
- Se produce un desarrollo muscular suficiente como para producir una eficaz onda peristáltica y esfínteres que controlen el paso entre los distintos tramos.
- Existencia de un control hormonal de la digestión estimulado por la composición del alimento ingerido.

### • **EL APARATO DIGESTIVO DE LOS VERTEBRADOS.**

Está compuesto por:

- Boca.
- Esófago.

- Estómago.
- Intestino delgado.
- Intestino grueso.
- Recto.
- Ano.
- Glándulas anejas (glándulas salivares, el hígado y el páncreas).

La digestión es un proceso de transformación enzimático (químico) que necesita de un tratamiento mecánico (trituration). En el caso de los vertebrados, la digestión mecánica se lleva a cabo por la boca con dientes, aunque las aves, por carecer de ellos, presentan una molleja en el tubo digestivo, al inicio del intestino.

### **Boca.**

Funciones:

- Ingestión.
- Masticación.
- Humectación y lubricación.
- Degustación.
- Iniciación de los movimientos de deglución (comienza la formación de la onda peristáltica)
- Iniciación de la digestión química.

La saliva se compone de agua, sales, urea, ácido úrico, amoníaco, anticuerpos (inhiben el desarrollo bacteriano), proteínas como la mucina y un enzima, la ptialina, que inicia la hidrólisis de los azúcares y que continúa actuando hasta que el jugo gástrico impregna el alimento.

### **Esófago.**

Comunica la boca con el esófago.

Muchos animales presentan una adaptación esofágica, el buche, que sirve de almacén de comida.

### **Estómago.**

En sentido estricto, el estómago es un órgano característico de los vertebrados.

Sus funciones son:

- Almacenar la comida y regular su paso al intestino.
- Realizar parte de la digestión.
- En algunos animales, como las aves, triturar el alimento, gracias al revestimiento córneo y arrugado de la molleja.

Aunque las necesidades celulares son continuas, el animal no está comiendo continuamente. El estómago le sirve de almacén en el que se evita la putrefacción gracias al pH ácido producido por la secreción de ácido clorhídrico.

Por otra parte regula el paso al intestino. Si los materiales pasaran rápidamente al tracto digestivo, la actividad enzimática digestiva sería incompleta, por lo que las pérdidas serían enormes.

En el estómago se segregan:



- Agua.
- Mucina: lubricante.
- Pepsinógeno: proenzima de la pepsina, enzima que hidroliza las proteínas para formar fragmentos polipeptídicos o peptonas.
- HCl, ácido clorhídrico, de acción bactericida y activador de la digestión, especialmente de las proteínas.
- En los mamíferos, en la etapa de lactantes, se segrega renina para la coagulación de la leche.

Estas secreciones están reguladas por un componente nervioso y otro hormonal. La hormona gastrina (que se segrega en el estómago) activa la secreción, y la enterogastrina (que se segrega en el intestino) inhibe la secreción.

### El estómago de los rumiantes.

Es un estómago complejo, que está formado por las siguientes cavidades:

- Panza.
- Redecilla.
- Libro.
- Cuajar.
- La hierba comida llega a la panza, donde comienza la fermentación, producida por bacterias capaces de descomponer la celulosa por medio del enzima celulasa.
- La redecilla va mandando pequeñas porciones a la boca.
- Cuando la panza está casi vacía, tras la rumia, el alimento vuelve a la redecilla donde continúa fermentando.
- Pasa al resto de las cavidades hasta el cuajar, estómago digestivo propiamente dicho.

Otros herbívoros, como el caballo, tienen ciegos en el intestino con bacterias que realizan la hidrólisis de la celulosa, aunque evidentemente la adaptación de los rumiantes es más eficaz.

### **Intestino.**

En el intestino se realizan las siguientes funciones:

- **Se completa la digestión.**
- **Absorción de los nutrientes:** la mayor parte de la absorción ocurre en esta parte del tubo digestivo.
- **Formación de las heces.**

En el **intestino delgado** pueden distinguirse tres zonas:

- **Duodeno.**
- **Yeyuno.**
- **Ileón.**

Los jugos que se vierten en el intestino son:

- **Jugo intestinal** o entérico, desde la pared del tubo digestivo.
- **Jugo pancreático**, desde el páncreas.
- **Jugo biliar**, desde el hígado.

Estas secreciones se controlan por un reflejo nervioso que se produce cuando el alimento entra en contacto

con la pared intestinal.

En el **intestino grueso** se produce la última fase de la digestión. En él no se producen secreciones. Se absorbe gran cantidad de agua (con iones) para evitar su pérdida excesiva. En este tramo, sobre todo en los ciegos, habitan en simbiosis numerosas bacterias que contribuyen a la digestión. Tras desembocar en el recto, un esfínter involuntario y otro voluntario controlan la defecación.

### **Anatomía del tubo digestivo.**

Es un tubo largo rodeado de músculo que, en corte transversal presenta las siguientes capas:

- Serosa: la más externa.
- Muscular:
- Longitudinal: la más externa, para el movimiento en longitud del tubo.
- Circular: más interna, para el estrechamiento y ensanchamiento del tubo.

El movimiento coordinado de ambas capas produce una onda peristáltica que recorre el tubo digestivo.

- Submucosa: de tejido conjuntivo y muy irrigada por vasos sanguíneos.
- Mucosa: epitelio interno con glándulas.

### **Glándulas anejas.**

El **páncreas** es una glándula endocrina, que segrega hormonas y también exocrina, que produce el juego pancreático.

El **hígado** produce continuamente bilis que se acumula en la vesícula biliar y se expulsa al tubo digestivo. La bilis no contiene enzimas, pero es necesaria para la digestión de las grasas.

### **• ABSORCIÓN.**

Los productos de la digestión son aptos para ser absorbidos. Se considera absorción el paso de sustancias nutritivas al medio interno.

En función de la complejidad fisiológica del animal, las moléculas podrán pasar al medio celular o al aparato circulatorio que se encargará de distribuir los nutrientes por todo el organismo. En ambos casos, el paso se llevará a cabo por difusión simple y difusión facilitada mediante transporte activo (que requiere gasto de energía).

- En el estómago la absorción es pobre, pero no nula. Se absorbe agua, alcohol y ciertos medicamentos.
- En los distintos tramos del intestino se absorben las siguientes sustancias:
- Duodeno: glúcidos y aminoácidos.
- Yeyuno, Ileón: lípidos
- Ileón: sales biliares.
- En el intestino grueso se absorben algunos productos del metabolismo bacteriano, iones y agua.

La absorción depende de la naturaleza de la membrana y de su superficie. Las membranas de la boca, estómago y recto no tienen mecanismos de transporte activo, por lo que la absorción se produce por difusión pasiva. En el intestino delgado actúan conjuntamente la difusión pasiva y el transporte activo.

La superficie de intercambio del intestino se incrementa enormemente gracias a los pliegues, llamados **vellosidades intestinales**. En la especie humana, el intestino delgado tiene una superficie total de unos 10 m<sup>2</sup>.

## • **EL INTERCAMBIO DE GASES EN LOS VEGETALES.**

Los vegetales son organismos autótrofos fotosintéticos. Además son seres eucarióticos que llevan a cabo la respiración celular. Ambos son procesos que tienen requerimientos opuestos:

- En la respiración celular se incorpora oxígeno y se expulsa como producto de excreción dióxido de carbono.
- En la fotosíntesis sucede a la inversa.

El intercambio de gases se lleva a cabo principalmente en las hojas, concretamente a través de los **estomas**.

La anatomía del estoma incluye:

- **células oclusivas** (guardianas; poseen cloroplastos)
- **células epidérmicas** (acompañantes)
- **ostiolo** (abertura)
- **cámara subestomática.**

A través de los estomas se lleva a cabo el intercambio de gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{O}_2$ ) y la transpiración o pérdida de agua en estado de vapor.

Los factores que influyen en la apertura y cierre del estoma son la humedad, la concentración de  $\text{CO}_2$ , la luz y la temperatura.

El intercambio de gases se produce por simple difusión.

Durante el día, las células oclusivas realizan la fotosíntesis (poseen cloroplastos) y consumen el  $\text{CO}_2$  que existe en su interior. Por la noche no se produce la fotosíntesis y las células oclusivas hacen que el estoma se cierre.

Los estomas se encuentran predominantemente en el envés de las hojas y en los tallos jóvenes. En los tallos viejos, las **lenticelas** cumplen la misma función que estos: realizar el intercambio de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  y vapor de agua.

### **La transpiración.**

La transpiración es la pérdida de vapor de agua a través de los estomas de las hojas.

Los factores que influyen en la intensidad con que se produce son:

- **La humedad relativa del aire.** El aumento de la humedad atmosférica produce una disminución de la transpiración.
- **La velocidad del viento.** Hace que se retire vapor de agua rápidamente de las proximidades del estoma y produce un aumento de la transpiración.
- **La temperatura.** Disminuye la humedad relativa y provoca un aumento de la transpiración.

Existen diversas hipótesis sobre la función biológica de la transpiración:

- Sirve para mantener el flujo de nutrientes por la planta. El aumento de presión osmótica que se produce en las hojas, originada por la pérdida de agua, ejerce un efecto de arrastre sobre el agua de la raíz (con presión menor).
- Contribuye a la refrigeración de la planta.

- No realiza ninguna función. La pérdida de agua por los orificios necesarios para el intercambio de gases, es inevitable.
- **EL INTERCAMBIO DE GASES EN LOS ANIMALES.**

Los animales son organismo heterótrofos, cuyas células obtienen energía del proceso metabólico denominado respiración celular. Para que esta pueda realizarse se necesitan:

- **Combustibles orgánicos.**
- **Oxígeno.**

El oxígeno que se consume en la oxidación de las moléculas orgánicas ha de ser obtenido del medio ambiente. El dióxido de carbono (uno de los productos de la respiración celular) debe ser eliminado, puesto que es tóxico en concentraciones excesivas.

La **función respiratoria** es el proceso de entrada de oxígeno y salida de dióxido de carbono en el organismo. Se realiza a través de:

- **La membrana plasmática de las células, o**
- **La piel u otras membranas especializadas** (branquias, tráqueas o pulmones).

**Como se produce el intercambio de gases.**

Los gases entran y salen del organismo por **difusión física**:

- Las moléculas gaseosas atraviesan (la membrana que separa dos espacios diferentes hasta que la concentración del gas es igual a ambos lados de ella).
- Cuanto mayor es la diferencia de concentración entre el exterior y el interior del animal, mayor es la difusión.
- Cuanto más fina es la membrana, mayor es la difusión.
- Las membranas respiratorias están humedecidas con una lámina de agua.
- Cuanto mayor es la superficie de intercambio, mayor es la difusión.

### • **MEMBRANAS RESPIRATORIAS Y ADAPTACIONES AL MEDIO**

La aparición (a lo largo del proceso evolutivo) de las distintas membranas especializadas en el intercambio de gases está motivada por:

- **La complejidad del organismo:** Cuanto más complejo es el organismo, mayores son sus necesidades de oxígeno, lo que hace imprescindible el desarrollo de mayores superficies de intercambio de gases.
- **Las características del medio:** El tipo de respiración está ligado al ambiente acuático o aéreo en el que vive el animal.

**Origen de las membranas de intercambio de gases.**

A lo largo de la **evolución las superficies respiratorias se han originado por:**

- **Evaginación:** Formación de una serie de estructuras hacia el exterior del animal (branquias).
- **Invaginación:** formación de una serie de estructuras hacia el interior del animal (traqueas y pulmones).

La membrana recibe en ambos casos un flujo de aire o de agua, lo que hace que se desarrollen **mecanismos de ventilación**:

- **Activa:** con gasto de energía.
- **Pasiva:** Sin gasto de energía.

## **Las características del medio y la respiración.**

### El medio acuático

- La proporción de oxígeno es menor que en el aéreo.
- El dióxido de carbono es más soluble en el agua que en el aire, siendo su eliminación más fácil.
- El oxígeno proviene del aire disuelto en el agua (no de las moléculas de agua).
- La superficie respiratoria está constituida por un conjunto de láminas o filamentos que el agua baña directamente y que se denominan branquias.

### El medio terrestre.

- El aire atmosférico tiene una importante proporción de oxígeno (próxima al 20%).
- El principal problema es la excreción de productos, tales como los derivados del nitrógeno y el dióxido de carbono (no la obtención de oxígeno).
- Los derivados del nitrógeno se eliminan a través del aparato excretor, puesto que se eliminan mejor disueltos en agua.
- El dióxido de carbono se excreta a través de la superficie respiratoria, que debe estar húmeda.
- Para evitar la desecación de la superficie respiratoria, a lo largo de la evolución, se han desarrollado membranas respiratorias internas como los pulmones (sacos aéreos) y las tráqueas (conductos), por medio de invaginaciones.

## • **TIPOS DE RESPIRACIÓN.**

En función del tipo de membrana respiratoria y del sistema de ventilación se distinguen distintos tipos de respiración:

- Difusión simple o directa (animales unicelulares, espongiarios y celentéreos a través de las membranas plasmáticas de cada una de sus células).
- Respiración cutánea.
- Respiración branquial.
- Respiración traqueal.
- Respiración pulmonar.

## • **RESPIRACIÓN CUTÁNEA.**

- Es el intercambio de gases a través de la piel.
- Propio de organismos con necesidades de oxígeno pequeñas.
- La superficie del animal debe carecer de una cubierta protectora, es decir:
- Estar vascularizada (en contacto con la sangre).
- Estar húmeda.
- Ser fina.
- Ser permeable.
- Propia de:
- Anélidos (como la lombriz de tierra).
- Algunas larvas de peces.
- Anfibios.
- Muchas veces se encuentra complementada con la respiración pulmonar.

## • **RESPIRACIÓN BRANQUIAL.**

La evaginación de la superficie respiratoria produce branquias con láminas o filamentos muy vascularizados. Existen dos tipos:

- Branquias externas:
  - Se proyectan hacia fuera del cuerpo del animal y no están protegidas.
  - Son las más primitivas desde el punto de vista evolutivo.
  - No requieren de sistemas de ventilación que movilicen el agua.
  - Resultan llamativas para los depredadores.
  - Se ven sometidas a la abrasión.
  - Dificultan el movimiento del animal al romper su forma hidrodinámica.
  - Propias de:
    - gusanos marinos
    - equinodermos
    - algunos anfibios adultos
    - larvas de muchos anfibios
    - larvas de algunos peces
- Branquias internas:
  - Mejor regulación del intercambio de gases al disponer de sistema de ventilación
  - Protección de la abrasión y de los depredadores.
  - Mantenimiento de la forma hidrodinámica.
  - Se observan en la mayoría de los organismos acuáticos:
    - moluscos
    - crustáceos
    - peces óseos:
  - Los filamentos se sitúan en las cámaras branquiales protegidas por opérculos.
  - El agua entra por la boca, pasa a la cámara branquial y sale por el opérculo (en dirección contraria a la circulación de la sangre (contracorriente) para mejorar la difusión).
  - El flujo es por lo tanto unidireccional.

## • **RESPIRACIÓN TRAQUEAL.**

- Las tráqueas son tubos o conductos por los que circula el aire, que penetran y se ramifican en el interior del animal.
- Se han producido por invaginación.
- Propio de artrópodos terrestres (los animales que poseen este tipo de respiración no pueden tener un gran tamaño):
  - Arácnidos (algunos tipos han desarrollado una especie de pulmones, pero el oxígeno no es conducido por el aparato circulatorio, sino por tráqueas).
- Insectos
- Miriápodos
- Las tráqueas se comunican con el exterior por medio de unos orificios llamados espiráculos y en la mayoría de los casos están provistos de válvulas reguladas por músculos.
- El conducto de la tráquea se ramifica hasta convertirse en unos finos capilares aéreos, las traqueolas, que llegan hasta los tejidos.
- El sistema conduce el aire hasta las células, por lo que el aparato circulatorio pierde su función de transporte de gases.
- El conjunto de conductos representa la mitad del volumen corporal, lo que impide el desarrollo de otros posibles órganos.

## • **RESPIRACIÓN PULMONAR.**

- Los pulmones son invaginaciones de la superficie respiratoria (sacos aéreos muy vascularizados) y van acompañados de un sistema circulatorio que distribuye el O<sub>2</sub> por todas las células y retira de estas el CO<sub>2</sub> que producen como sustancia de deshecho.
- Es propia de todos los vertebrados terrestres y algunos invertebrados terrestres.

Tendencias evolutivas:

- Aumento de la superficie del epitelio respiratorio.
- Especialización de los mecanismos de ventilación.
- Aumento de la eficacia de la circulación.

Se pueden distinguir dos tipos de pulmones:

### • **Pulmones de difusión:**

- No poseen mecanismos activos de ventilación.
- El aire penetra en el saco aéreo por difusión.
- Exclusivo de los invertebrados terrestres (caracol, escorpión, algunas arañas).
- No son eficaces en organismos grandes con necesidades metabólicas altas.

### • **Pulmones de ventilación:**

- Cuentan con mecanismos de ventilación que movilizan el aire y permiten una gran difusión, a pesar de que la membrana de intercambio está alejada del exterior.
- Propios de los vertebrados.
- El pequeño pulmón de los anfibios sirve como complemento de la respiración cutánea. Es el origen filogenético de los pulmones del resto de los vertebrados..

## **Mecanismos de ventilación:**

- **Bomba de presión** (o de deglución): Propio de los anfibios. Consiste en una serie de movimientos de la boca que pueden llegar a llenar los pulmones de la rana de tal manera que ésta puede aumentar de volumen.
- **Bomba de succión:** Propio de reptiles, aves y mamíferos. Implica la existencia de una caja torácica, que alberga los pulmones y unos músculos que producen el aumento de volumen del tórax.

A excepción de las aves en las que se da movimiento unidireccional del aire, éste se mueve en dos sentidos:

- **Inspiración:** Proceso activo. Determinados músculos se contraen, la caja torácica incrementa su volumen y el aire ingresa en los pulmones.
- **Espiración:** Proceso pasivo. Los músculos se relajan y esto hace que el aire salga de los pulmones. Es imposible el vaciamiento completo de los pulmones, incluso en una espiración forzada; siempre queda el llamado volumen residual.

El pulmón está recubierto por una membrana, la pleura, doble y no distensible. Entre ambas caras se encuentra el líquido pleural, que permite el deslizamiento de una de las membranas de la pleura sobre la otra, pero no su separación. Esto impide que el pulmón se colapse.

Pulmones humanos:

- Tienen 750 millones de alveolos.
- Superficie de 90 m<sup>2</sup>, lo que supone también un gran volumen y un gran tamaño.

- Los pulmones no se pueden vaciar por completo y la tráquea nunca se vacía. Siempre queda el espacio muerto (volumen residual) con un aire de baja concentración de O<sub>2</sub> que se mezcla con el aire procedente de la atmósfera, rico en O<sub>2</sub>.

Pulmones de las aves:

- Pequeño tamaño.
- No tienen espacio muerto.
- La ventilación es unidireccional.

### • CONTROL Y REGULACIÓN DE LA VENTILACIÓN.

Las cantidades de oxígeno que un animal necesita incorporar y de dióxido de carbono que necesita eliminar, varían enormemente dependiendo de su actividad.

En los animales activos, como los cefalópodos, los insectos o los vertebrados, el intercambio gaseoso es permanente y existen mecanismos de regulación que mantienen el flujo de aire o agua.

Los músculos esqueléticos (efectores respiratorios) no pueden ser automáticos y dependen de impulsos nerviosos. El movimiento muscular es rítmico y se mantiene gracias a neuronas marcapasos que pueden variar la frecuencia de los impulsos por mecanismos de regulación del sistema nervioso, los ganglios o los centros nerviosos centrales.

En los vertebrados, la regulación depende de centros medulares o del bulbo raquídeo. Estos centros reciben información de receptores químicos que se encuentran en determinados lugares, como en el cruce de los vasos sanguíneos importantes. El incremento de concentración de CO<sub>2</sub> o la disminución de O<sub>2</sub> provoca un reflejo de estimulación de los centros reguladores de la ventilación, que producen un aumento de la frecuencia respiratoria.

### • EL TRANSPORTE EN LOS VEGETALES.

- En las **talofitas** las sustancias pasan de célula en célula por simple difusión.
- En las **cormofitas** se han desarrollado tejido conductores que forman vasos, es decir, estructuras anatómicas que llevan a cabo el transporte:
- El **xilema**, que forma los vasos leñosos y transporta la **savia bruta**.

La savia bruta está compuesta por el agua y las sales minerales que la planta toma por la raíz. Desde esta, la savia bruta asciende por el tallo, a través del xilema, hasta llegar a las hojas.

- El **floema**, que forma los vasos liberianos y transporta **savia elaborada**.

La savia elaborada está compuesta por azúcares, lípidos, aminoácidos, nucleótidos, etc., todos ellos productos que se originan a partir de la fotosíntesis, en las hojas y otras partes verdes del vegetal. Desde estas, la savia elaborada circula por el tallo, a través del floema, y se reparte por toda la planta.

#### **Transporte de la savia bruta.**

El **xilema** es un tejido formado por **células muertas** y alargadas que se disponen linealmente. En ellas los tabiques transversales han desaparecido y las paredes están engrosadas por **lignina**, lo que les permite construir largos tubos.

Existen varias hipótesis para explicar como asciende la savia bruta por los vasos del xilema.



- **Por capilaridad:** Gracias a este fenómeno físico se puede explicar la ascensión de la savia bruta en las plantas herbáceas, pero no se puede explicar cómo se produce en los árboles (cuestión de altura).
- **Por energía metabólica:** En determinadas discontinuidades de los vasos se han observado células vivas que podrían bombear agua, con gasto de energía.

Más aceptadas son las siguientes teorías:

- **Por presión radical:** La absorción de las raíces genera una presión que provoca el ascenso de la savia. Así podría explicarse la ascensión de la savia hasta una altura máxima de unos 50 metros.
- **Por tensión-cohesión:** Esta teoría se basa en la existencia de estados inestables: el agua en un tubo Torricelli puede ascender hasta los 15 metros. La transpiración puede ser el motor de la ascensión de la savia. Las moléculas de agua consumidas en el tramo superior de la planta tiran de las moléculas de agua de la parte inferior de ésta.

Mientras no se llegue a una conclusión definitiva, se puede aceptar que sean varios de estos procedimientos los que contribuyan conjuntamente a la ascensión de la savia.

### **Transporte de la savia elaborada.**

Los vasos liberianos (**floema**) son los encargados de transportar la savia elaborada. Están constituidos por **células vivas**, aunque han perdido parte del material del núcleo. Los tabiques que las comunican están perforados por numerosos poros llamados **cribas**.

En invierno, en los vegetales de hoja caduca, los poros quedan taponados por una sustancia, llamada **calosa**, que interrumpe la circulación de la savia, lo que origina la caída de la hoja. Al llegar la primavera, la calosa se reabsorbe y las hojas vuelven a brotar.

Para explicar cómo circula la savia elaborada se proponen varias alternativas:

- Por difusión facilitada: a través del citoplasma de las células se produciría un transporte selectivo de los nutrientes con consumo de energía.
- Por osmosis (flujo de masas): Es una teoría muy poco aceptada. Se basa en la diferencia de presión osmótica existente entre diferentes medios.
- Por la contracción de proteínas: La contracción de proteínas fibrosas retráctiles acelera el paso selectivo de nutrientes.

El transporte de la savia elaborada varía en función de:

- Las características del soluto.
- El tipo de planta.
- La actividad metabólica de las células cribosas.
- La temperatura.
- La concentración de O<sub>2</sub>.
- La estación del año en que nos encontremos.

### • **EL MEDIO INTERNO. CIRCULACIÓN Y TRANSPORTE.**

Conforme aumenta la complejidad y el tamaño de los individuos, las células alcanzan un grado de especialización alto, por lo que pierden autonomía y, en consecuencia, parte de su capacidad para automantenerse. Una célula puede dedicarse a su ocupación específica (especializarse), en un ambiente que le proporcione los nutrientes necesarios, recoja los productos de deshecho y se mantenga constante y homogéneo. Este ambiente es el medio interno.

La delicadeza de las células de los animales, su alto grado de especialización y sus mayores exigencias metabólicas hacen que sea necesario la existencia de un ambiente estable, por lo que, de manera progresiva, a lo largo de la evolución animal, el entorno intercelular ha tendido a hacerse constante.

El medio interno es acuoso y está fundamentalmente compuesto por los líquidos que bañan a las células. En los vertebrados, el líquido que baña el medio interno es el plasma intersticial, llamado también líquido tisular, y los líquidos circulantes son la sangre y la linfa.

El aumento de tamaño del individuo tiene como consecuencia que las superficies de intercambio (la respiratoria, la digestiva y la excretora) están muy alejadas de la mayoría de las células. En estas condiciones, si no existiese un sistema circulatorio, la difusión entre las superficies de intercambio y los tejidos sería tan lenta que no llegarían a estos ni el O<sub>2</sub> ni los demás nutrientes.

Para lograr que tenga lugar la difusión, hay que remover. Como consecuencia del movimiento de los líquidos, se produce un transporte de hecho. En la superficie respiratoria abunda el O<sub>2</sub> que pasa al líquido circulante. En los tejidos, el O<sub>2</sub> es más escaso y se difunde desde el líquido circulante hasta ellos. Los productos de deshecho (CO<sub>2</sub>) abundan en los tejidos y pasan a los líquidos por difusión. El proceso inverso tiene lugar en las superficies excretoras.

En los organismos unicelulares, el sistema de agitación consiste en simples movimientos citoplasmáticos.

En los animales, la circulación de los líquidos se sustenta en dos adquisiciones básicas:

- Se desarrolla un aparato circulatorio, compuesto por conductos o vasos por los que circulan líquidos especializados en el transporte.
- Se crea una fuerza propulsora mediante los movimientos del cuerpo del animal o gracias al funcionamiento de un órgano especializado, una bomba propulsora denominada **corazón**.

El sistema circulatorio consta de tres componentes fundamentales:

- **Líquidos circulantes.**
- **Conductos.**
- **Mecanismo propulsor.**

Las características del aparato circulatorio en función del tipo de sistema de circulación, son:

- **Circulación abierta:**
  - Los fluidos circulantes, aunque sean conducidos por vasos, desembocan en senos o lagunas que bañan directamente los tejidos.
  - Es propia de casi todos los invertebrados.
- **Circulación cerrada:**
  - Los conductos se van ramificando hasta convertirse en pequeños capilares que son permeables y que forman una completa y continua red.
  - Los líquidos circulantes son permanentemente conducidos por vasos. El intercambio se produce a través de las paredes de los capilares, por las que los fluidos se filtran a los espacios tisulares.
  - Es propia de los anélidos, cefalópodos y los vertebrados.

#### • **LÍQUIDOS CIRCULANTES. LA SANGRE.**

- En los organismos que poseen circulación abierta, el fluido circulante no se diferencia notablemente del líquido intersticial, puesto que no existe una separación definida entre ellos.

- Los vertebrados poseen una hemolinfa que suele contener células especializadas en el transporte.
- Los líquidos circulantes van incorporando pigmentos que favorecen el transporte de gases al asociarse a moléculas de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>.
- Los líquidos circulantes de los vertebrados son la linfa y la sangre. El pigmento respiratorio de la sangre es contenida en los glóbulos rojos.

### Componentes de la sangre

La sangre está compuesta por células y por plasma.

- Células:
- **Glóbulos rojos, eritrocitos o hematíes:**
  - Contienen un pigmento color rojo, la hemoglobina, que es una proteína con afinidad por las moléculas de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.
  - Su función es el transporte de gases.
  - En los mamíferos son células carentes de núcleo.
- **Lóbulos blancos o leucocitos:**
  - Intervienen en la defensa del organismo de los agentes infecciosos.
  - No contienen pigmentos.
  - Dos tipos principales:
  - **Granulocitos:** Su función es fagocitar cuerpos extraños o los complejos antígeno–anticuerpo, resultado de la defensa inmunitaria. Se distinguen:
    - **Eosinófilos.**
    - **Neutrófilos.**
    - **Basófilos.**
  - **Agranulocitos:** Son capaces de reconocer los antígenos y sintetizar anticuerpos para neutralizarlos. Se distinguen:
    - Distintos tipos de **Linfocitos (T,B).**
    - En algunos vertebrados: **Monocitos**
  - **Trombocitos:**
    - Células especializadas en la coagulación sanguínea.
    - Evitan la pérdida de sangre cuando se rompen los vasos sanguíneos como consecuencia de una herida u otra lesión.
  - **Plaquetas:**
    - Fragmentos celulares presentes en la sangre de los mamíferos que cumplen la misma función que los trombocitos.
- Plasma:
  - Es el líquido que queda si le quitamos a la sangre los elementos celulares.
  - Está compuesto por:
    - **Agua y sales minerales:** Compuestos omnipresentes en el medio interno.
    - **Nutrientes:** Las sustancias absorbidas por la superficie digestivas las sustancias de reserva que son utilizadas en cualquier momento por las células de los tejidos en función de sus necesidades.

Los más abundantes son:

- Glucosa (combustible metabólico universal).
- Distintos lípidos.
- Albúmina (proteína de reserva).
- Algunos aminoácidos.
- **Productos de deshecho:** Productos del metabolismo que son excretados desde la sangre. Entre ellos se encuentran los productos de excreción del nitrógeno: la urea y el ácido úrico.

- **Hormonas:** Esteroides y proteínas producidas en las glándulas endocrinas, que circulan por el medio interno y que afectan a los tejidos sensibles a ellas. Regulan diversos procesos fisiológicos.
- **Inmunoglobulinas:** Anticuerpos, o sea, proteínas especializadas en la defensa del organismo frente a los cuerpos extraños.
- **Fibrinógeno:** Proteína precursora de la fibrina que interviene en la coagulación y en la reparación de los vasos. El plasma sin fibrinógeno constituye el suero sanguíneo.

### **Funciones de la sangre.**

- **Transporte:** Como resultado de la circulación de la sangre se produce un transporte de gases, nutrientes, producto de deshecho y hormonas.
- **Defensa contra agentes infecciosos:** Por los anticuerpos que sintetizan los linfocitos y la fagocitosis que realizan otros leucocitos.
- **Homeostasis:** Consiste en el mantenimiento de la constancia del medio interno.
- La sangre contiene sales, como el bicarbonato, que amortiguan las variaciones de pH, por lo que contribuye al mantenimiento del equilibrio ácido-base.
- El volumen total de sangre se denomina volemia y varía para mantener el equilibrio osmótico.
- El sistema circulatorio contribuye a que la temperatura se mantenga constante en los animales homeotermos (aves y mamíferos), aumentando o disminuyendo el riego en las zonas próximas a la superficie del animal (vasodilatación y vaso constricción periféricas).

### **La linfa.**

- Es un fluido propio de los vertebrados (excepto de algún tipo de pez), que circula por un sistema denominado sistema linfático, encargado de complementar la actividad del sistema sanguíneo.
- Su composición es muy similar al plasma intersticial.
- Contribuye al intercambio entre la sangre y los tejidos.
- Drena los espacios tisulares, para evitar la acumulación de proteínas y lípidos.
- Interviene en la defensa inmunitaria, gracias a la producción de linfocitos.

### **• CONDUCTOS Y MECANISMOS DE PROPULSIÓN.**

- En los sistemas abiertos, los vasos se limitan a conducir el líquido circulante a los senos o lagunas. El regreso del líquido se suele producir directamente desde los espacios tisulares hasta las cavidades que rodean el corazón, sin necesidad de conductos.
- En los sistemas cerrados, como toda la sangre circula por vasos, se requiere que aquellos vasos que pasan por las zonas de intercambio sean permeables.

### **Distintos tipos de vasos sanguíneos:**

- **Arterias:**
  - Llevan la sangre desde el corazón hasta los tejidos.
  - En los vertebrados, su elasticidad mantiene una presión alta y cambia el flujo discontinuo de sangre producido por el corazón en un flujo continuo cuando esta llega a los tejidos.
  - Sus paredes son gruesas y elásticas.
  - Compuestas por:
    - Una capa externa de tejido conectivo.
    - Una capa muscular.
    - Una capa interior de endotelio.
- **Venas:**
  - Son distensibles y presentan una capa muscular menos desarrollada que las arterias.
  - Llevan la sangre a baja presión de vuelta al corazón.

- **Capilares:**
- Poseen un endotelio fino y permeable para que se pueda realizar el intercambio de gases y nutrientes entre la sangre y el plasma intersticial.
- Conectan las venas con las arterias.
- Exclusivas de los sistemas cerrados.

A lo largo de los vasos sanguíneos, excepto en los capilares, existen válvulas que impiden el reflujo de sangre.

El **sistema linfático** está formado por una red de finos vasos (capilares) que se unen formando vasos mayores hasta constituir uno que desemboca en el sistema sanguíneo. En las intersecciones entre vasos se localizan unos nódulos, denominados ganglios linfáticos, que están formados por agregados de linfocitos.

### **Dispositivos de bombeo. El corazón.**

- En los **sistemas abiertos**, el corazón envía el líquido a alta presión hacia los espacios tisulares. Al llegar a las lagunas, la presión se disipa y es necesario un sistema de succión para que se produzca el regreso.
- Los **sistemas cerrados** poseen bombas de impulsión que mantienen el flujo por la red de vasos.
- Los anélidos (lombrices) poseen un vaso dorsal contráctil.
- Los artrópodos (crustáceos e insectos) poseen corazones tubulares.
- Los moluscos y vertebrados poseen corazones compartimentados, compuestos por:
  - **Ventrículo:** Bomba principal impulsora de paredes gruesas.
  - **Aurícula:** Bomba auxiliar cebadora, que contribuye al llenado y a la distensión del ventrículo.
- La contracción cardíaca se denomina **sístole** y la relajación **diástole**.
- El músculo cardíaco o **miocardio** está formado por células que presentan una capacidad de contracción rítmica y automática.
- En los **corazones neurogénicos** la sincronización de las fibras musculares se debe al control ejercido por las células nerviosas.
- En los **corazones miogénicos** la sincronización de las fibras musculares se debe a fibras musculares especializadas situadas en determinadas zonas que funcionan como sistemas marcapasos.
- La frecuencia de los latidos también se modificada por factores químicos, mecánicos y térmicos.

### **• LOS APARATOS CIRCULATORIOS DE LOS INVERTEBRADOS.**

- **Anélidos:** Poseen un verdadero sistema de circulación formado por:
  - Un gran **vaso dorsal contráctil** que traslada la sangre en dirección cefálica.
  - Un **vaso ventral** que envía la sangre en dirección caudal.
  - Unos **vasos transversales contráctiles** y que actúan a modo de corazones laterales.
  - Es por lo tanto un **sistema cerrado**.
- **Moluscos:** Poseen un sistema de **circulación abierta** o lagunar (excepto los cefalópodos).
  - Presenta un **corazón** con **una o dos aurículas** y un **ventrículo**.
- **Cefalópodos:** Poseen un sistema cerrado. Formado por:
  - **Arteria aorta**, por la que el corazón envía la sangre.
  - **Vena cava**, por la que la sangre regresa al corazón.
  - **Dos corazones auxiliares** que refuerzan la circulación por las branquias.
- **Artrópodos** (con caparazón externo): Poseen un sistema de circulación abierta.

- Envía la hemolinfa a través de unos vasos hasta las lagunas, donde baña los órganos. El saco pericárdico recibe la hemolinfa, que penetra por los ostiolas en el corazón.
- **Insectos:** corazón tubular. Al tener un sistema de respiración traqueal, la hemolinfa no transporta gases, sólo nutrientes.
- **Ácaros:** corazón redondeado.
- **Cangrejo de río:** corazón pentagonal.

## • LOS APARATOS CIRCULATORIOS DE LOS VERTEBRADOS.

- Salvo en algunos peces, consta de un **sistema sanguíneo y un sistema linfático**.
- La circulación es **siempre cerrada**, pero puede ser sencilla o doble.
- **Sencilla:** Consta de un **circuito** cuyo recorrido abarca todos los órganos.
- **Doble:** Presenta un **circuito de circulación mayor o sistémica** y otro denominado **circuito de circulación menor o pulmonar**, que recorre la superficie respiratoria.

### La circulación doble.

- En realidad es un solo circuito con dos bombas fisiológicas que están unidas en un solo corazón que posee cuatro cavidades: dos aurículas y dos ventrículos.
- El sistema puede ser incompleto si el corazón tiene sólo tres cavidades, ya que en ese caso, aunque existen las dos circulaciones, se produce la mezcla de sangre oxigenada con la sangre pobre en oxígeno.
- **Peces óseos:** Poseen un corazón formado por una aurícula precedida de un seno venoso y un ventrículo seguido de un bulbo arterial.
- Su circulación es sencilla.
- Es un sistema completo ya que no se mezclan los dos tipos de sangre.
- **Anfibios adultos:** Poseen un corazón con dos aurículas y un solo ventrículo.
- Su circulación es doble.
- Es un sistema incompleto.
- **Reptiles (excepto cocodrilos):** El corazón presenta dos aurículas y un ventrículo parcialmente dividido.
- Su circulación es doble.
- Es un sistema incompleto.
- **Cocodrilos, aves y mamíferos:** El ventrículo está completamente dividido en dos y no existe mezcla de sangre de distintas procedencias.
- Su circulación es doble.
- Es un sistema completo.
- Del ventrículo derecho parte la sangre hacia los pulmones, de los que regresa oxigenada a la aurícula izquierda. De esta pasa a través de una válvula al ventrículo izquierdo, desde el que es distribuida por todos los órganos. Regresa a la aurícula derecha con menos cantidad de oxígeno y cargada de CO<sub>2</sub>. Desde ahí pasa al ventrículo derecho.
- La circulación doble y completa garantiza un flujo constante de sangre rica en oxígeno y nutrientes a todas las células del animal, incluidas las más alejadas de las superficies de intercambio.

## • MEDIO INTERNO Y HOMEOSTASIS.

El ser vivo es un sistema en el estado de **equilibrio estacionario**. A las oscilaciones de las variables

físico-químicas del medio ambiente, tales como:

- la temperatura
- el pH (acidez)
- concentración osmótica (proporción entre agua y sales)
- la concentración de numerosas sustancias como nutrientes, productos de deshecho, iones y hormonas

los seres vivos responden reequilibrándose, es decir, regulando la respuesta a las variaciones de forma que su propio medio, el **medio interno**, apenas varía a pesar de las oscilaciones ambientales. **Homeostasis** es el mantenimiento de la constancia en las condiciones del medio interno.

Los vegetales y los animales más sencillos carecen de un verdadero medio interno. Sus células no disfrutan de un medio constante, pero poseen una pared celular que impide que las variaciones de presión osmótica provoquen su destrucción.

Los animales menos evolucionados poseen una fisiología poco exigente (son más pequeños y menos activos) y admiten variaciones más amplias de las condiciones ambientales.

En un mamífero, la temperatura de su cuerpo puede oscilar entre límites muy estrechos y será independiente de la del ambiente exterior, gracias a los mecanismos de **regulación** del medio interno, o sea, los mecanismos homeostáticos.

Un animal recibe continuamente en sus sistemas de coordinación (nervioso) y de regulación (endocrino) información sobre las oscilaciones de una determinada variable del medio interno y también responde continuamente. Es un equilibrio que requiere la alerta constante de los receptores y de los centros de información. Este mecanismo de control se denomina **retroalimentación** o **feed-back**.

### **Organos implicados en la homeostasis.**

- Los animales que poseen una homeostasis más completa son los vertebrados y dentro de ellos las aves y los mamíferos.
- Todos los aparatos y sistemas están implicados en la homeostasis.
- Los órganos que están implicados en mayor medida en el control de las variables del medio interno de los vertebrados son:
  - La **piel**. Es la frontera entre el medio interno u el ambiente exterior. Constituye un importante medio de regulación de la temperatura gracias a las glándulas sudoríparas.
  - El **hígado**. Es un órgano fundamental para la homeostasis: recibe todos los nutrientes absorbidos por el intestino, los almacena y regula la cantidad de ellos que se envía por la sangre al plasma intersticial, en función de las necesidades del organismo.

Es también un órgano depurador y excretor, puesto que descompone los productos tóxicos, haciéndolos inoos, y, metaboliza la hemoglobina de los glóbulos rojos transformándola en pigmentos biliares que serán eliminados por el aparato digestivo.

- Los **pulmones**. (Su contribución a la homeostasis fue explicada en la Unidad 13)
- Los **riñones**. Son el principal mecanismo de regulación de los niveles de concentración y del equilibrio hidrosalino.

### **• FUNCIÓN EXCRETORA Y HOMEOSTASIS.**

El metabolismo genera numerosos productos. Unos son tóxicos en cantidades superiores a un determinado límite y deben ser expulsados del medio interno. Otros son inocuos o se requieren para otras funciones metabólicas, pero su cantidad debe ser regulada.

Se puede definir la **excreción** como la eliminación y separación del medio interno de los productos de deshecho del metabolismo.

- **No** es excreción la eliminación de las heces como tales, ya que están compuestas, en su inmensa mayoría, de desechos digestivos que no son productos del metabolismo y nunca han entrado en el medio interno.
- **Si** es excreción la eliminación del CO<sub>2</sub> por los pulmones y la expulsión de los pigmentos biliares que, desde el hígado, llegan por vía digestiva a formar parte de las heces.

La excreción es un mecanismo regulador, puesto que la mayor o menor eliminación de una determinada sustancia conduce al mantenimiento de su nivel idóneo para el medio interno.

### • **FUNCIONAMIENTO DE LOS ÓRGANOS EXCRETORES.**

Los distintos tipos de animales cuentan con órganos dedicados a la excreción generalizada y con órganos que tienen otras misiones, pero que realizan la excreción específica de alguna sustancia; entre ellos se encuentran el hígado, las glándulas sudoríparas y los tubos digestivos.

Los órganos excretores generales son pequeños túbulos que cuando se reúnen en órganos compactos constituyen el denominado **riñón**.

Son:

- **Nefridios** en muchos invertebrados.
- **Glándulas verdes** en los crustáceos.
- **Tubos de Malpighi** en los insectos.
- **Nefronas** en los riñones de los vertebrados.

La función de estos órganos excretores incluye tres procesos:

- **Filtración.** Salida de líquido (agua, glucosa, sales, productos de excreción) del medio interno a través de una membrana del órgano excretor, gracias a la diferencia de presión hidrostática.
- **Reabsorción.** Reincorporación por transporte activo (con gasto de energía) de determinadas sustancias (agua, glucosa, algunas sales) al medio interno.
- **Secreción.** Extracción por transporte activo de moléculas del medio interno con el fin de que sean eliminadas.

Una vez producida la filtración, las células de la superficie excretora (generalmente un tubo) realizan la tarea de reabsorber (al medio interno) y segregar (al medio externo) determinadas moléculas. El resultado es un fluido, la orina, que contiene las sustancias que se van a eliminar disueltas en agua.

### • **FUNCIONES DE LOS APARATOS EXCRETORES.**

Se pueden agrupar en dos:

- **Mantenimiento del equilibrio osmótico e hidrosalino.** Es el mantenimiento de la concentración global del medio interno. Este es una solución que presenta una determinada concentración de moléculas en agua que ha de ser constante para que las células puedan realizar su función sin alteraciones.



Se realiza por:

- Mantenimiento de las concentraciones de los iones inorgánicos.
- Mantenimiento del volumen de agua adecuado.
- Mantenimiento del pH y de la presión osmótica.

• **Eliminación de los productos del deshecho del metabolismo y de los productos tóxicos.** Son:

- Separación y eliminación de los productos de deshecho del metabolismo.
- Eliminación de los productos tóxicos o el resultado de su degradación.

• **LA EXCRECIÓN DEL NITRÓGENO.**

El nitrógeno es el principal residuo metabólico. Se excreta de alguna de las siguientes formas:

- **Amonio.** Es extremadamente tóxico, por lo que debe ser eliminado con abundante agua. Los animales que pueden excretarlo como tal son denominados **amoniotélicos**.
- **Urea.** Formado a partir de amonio y CO<sub>2</sub>. De toxicidad baja y soluble en agua. Es excretado en la orina de los animales **ureotélicos** como los bivalvos, anfibios y mamíferos.
- **Ácido úrico.** Es el producto de excreción del nitrógeno de los animales denominados **uricotélicos**, como los insectos, reptiles y aves. Es insoluble en agua.

• **ÓRGANOS EXCRETORES DE LOS INVERTEBRADOS.**

Los **equinodermos**, **celentéreos** y **espongiarios** carecen de tubos con funciones excretoras, realizándolas por difusión a través de la superficie del cuerpo del animal.

Los **nefridios** son los órganos excretores de la mayor parte de los invertebrados. Se distinguen dos tipos:

- **Protonefridio.** Más primitivo.
- **Metanefridio.** Propio de animales más complejos.

Los **insectos** no disponen de nefridios sino que la excreción corre a cargo de la parte posterior del intestino a donde desembocan los **tubos de Malpighi**.

• **APARATO EXCRETOR DE LOS VERTEBRADOS.**

La unidad fisiológica del **riñón** es la **nefrona**.

La nefrona se compone de:

- **Corpúsculo renal** o de Malpighi. Constituye el sistema que filtra a presión el plasma sanguíneo.

Está compuesto por:

- **Glomérulo de Malpighi**, formado por un conjunto de capilares que reciben sangre de una arteriola aferente. La sangre abandona el glomérulo no por una vena, sino por otra arteriola, la eferente. Las arterias garantizan una elevada presión hidrostática que es la base física de la filtración.
- **Cápsula de Bowman**, que rodea al glomérulo y es el comienzo ciego del túbulo. A través de ella se realiza la filtración.

- **Túbulo** contorneado de longitud variable, en el que penetra un filtrado de agua y moléculas de bajo peso molecular. Se distinguen las siguientes zonas:
- Túbulo contorneado proximal.
- Asa de Henle.
- Túbulo contorneado distal.

El túbulo desemboca en un tubo colector que recibe el extremo de muchas nefronas.

La concentración osmótica en la zona cortical es inferior y se hace mayor conforme se penetra hacia la médula.

Las nefronas están conectadas a tubos colectores colocados en dirección corteza–médula.

La permeabilidad de la pared de los tubos colectores depende de la hormona antidiurética o ADH que segrega el lóbulo posterior de la glándula hipófisis en función de la información que recibe sobre la concentración del medio interno. Si el medio se concentra, se recupera más agua y la orina sale más concentrada. Si los líquidos del medio interno están menos concentrados (por ejemplo, porque se ha bebido mucho agua), se segrega menor cantidad de hormona y la orina sale más diluida o, dicho de otro modo, se expulsa más cantidad de orina.

### • **LA EXCRECIÓN Y LA SECRECIÓN EN VEGETALES.**

Carecen de sistema excretor. Los productos del metabolismo son depositados en vacuolas.

Los productos nitrogenados son aprovechados por el metabolismo (al contrario que en los animales).

Los vegetales presentan ciertos **tejidos secretores** que fabrican sustancias consideradas en algunos casos como productos de deshecho y en otros casos como materiales útiles para la planta:

- Células aisladas situadas en los pétalos, que fabrican sustancias olorosas que atraen a los insectos de la polinización.
- Conductos resiníferos (resina) en las coníferas.
- Conductos lacitíferos (látex) en las higueras.

La gran cantidad de células, tejidos y órganos diferentes que constituyen un organismo pluricelular no pueden trabajar independientemente, sino que necesitan que sus actividades estén reguladas y coordinadas. Ello implica que deben actuar conjuntamente –integradamente– en función de las necesidades globales del organismo.

La integración consiste en la capacidad para captar y responder adecuadamente a estímulos internos y externos al organismo.

### • **LA NECESIDAD DE LA COORDINACIÓN: TIPOS.**

En los organismos existen dos tipos de mecanismos de coordinación:

- **Química** (moneras, protoctistas, hongos, plantas y animales). El encargado es el sistema hormonal o endocrino.
- **Nerviosa** (sólo animales). El encargado es el sistema nervioso.
- El **sistema nervioso** está formado por un tejido especializado en la conducción a gran velocidad de **impulsos nerviosos**, elaborados en centros nerviosos, hasta y desde todas las partes del cuerpo. Estos

impulsos son de naturaleza electroquímica. Atraviesan los nervios y liberan los **neurotransmisores**, que son unas señales moleculares que se transmiten de una neurona a la siguiente.

Este sistema se encarga básicamente de las relaciones con el entorno, el movimiento y la secreción glandular, que requieren respuestas rápidas y breves.

			<b>Impulsos nerviosos sensitivos</b>		<b>Impulsos nerviosos motores</b>	
<b>Estímulo</b>		<b>Receptores (órganos de los sentidos)</b>		<b>Sistema nervioso central (cerebro y médula espinal)</b>		<b>Efectores (músculos y glándulas).</b>

- El **sistema endocrino** lo constituyen **glándulas** cuya secreción son las **hormonas**. Estas se liberan a la corriente sanguínea y se distribuyen por el organismo hasta sus lugares de acción. Las respuestas endocrinas se demoran en el tiempo, pero su acción suele ser mucho más duradera.

Controla procesos metabólicos, de crecimiento, de diferenciación sexual o reproductivos.

			<b>Secreción de hormonas</b>			
<b>Estímulo</b>		<b>Órganos endocrinos</b>		<b>Hormonas transportadas por la corriente sanguínea.</b>		<b>Tejidos sensibles a las hormonas: corazón, vasos sanguíneos, hígado, órganos sexuales, etc.</b>

Actuando conjuntamente los dos sistemas regulan y coordinan todas las funciones del organismo.

### Componentes del proceso de coordinación.

- **Estímulo.** Es cualquier cambio que se produce fuera o dentro del organismo y que provoca un cambio en él.
- **Receptores.** Son aquellos órganos de los sentidos especializados en detectar el estímulo.
- **Coordinadores.** Son aquellos órganos que reciben la información desde los receptores y la utilizan para coordinar sus actividades. Los coordinadores que reciben la información de los órganos de los sentidos en forma de impulsos nerviosos, son:
  - El encéfalo.
  - La médula espinal.
- **Efectores.** Son aquellas partes del cuerpo que son controladas por los coordinadores (los músculos son efectores coordinados por el encéfalo y la médula espinal).
- **Respuestas.** Se denomina respuesta a un comportamiento provocado por un estímulo.
- **LA COORDINACIÓN NERVIOSA.**
  - La coordinación nerviosa **reside en el sistema nervioso.**

- El **sistema nervioso central (SNC)**, típico de los vertebrados, está formado por un **encéfalo** y una **médula espinal**. Éste sistema alcanza a todas las partes del organismo mediante los nervios formados por los millares de prolongaciones emitidas de las células nerviosas: los **axones**.

### La fibra nerviosa.

Al conjunto formado por un axón (de una neurona) y sus vainas envolventes, se le denomina **fibra nerviosa**, que sirve para conducir la corriente nerviosa.

### Las neuronas.

Las neuronas se diferencian de otras células por poseer prolongaciones muy largas y finas (0,005 mm de diámetro), los axones, que en algunos mamíferos pueden alcanzar más de un metro de longitud.

Los impulsos nerviosos pasan a través de una neurona en una única dirección.

Básicamente hay dos tipos de neuronas:

- **Neuronas sensitivas.** Conduce los impulsos desde los receptores de los órganos de los sentidos.
- **Neuronas motoras.** Conducen los impulsos desde el sistema nervioso central a los órganos efectores (músculos y glándulas).

### El impulso nervioso.

El impulso nervioso es un mensaje electroquímico que transmiten los nervios.

La misión de los receptores sensitivos es transformar los estímulos (luz, sonido, etc.) en impulsos nerviosos, que a través de las fibras sensoriales lleguen al cerebro.

Un impulso comienza como un cambio en la disposición de iones en un área pequeña en el extremo de una fibra nerviosa. El área excitada transmite la excitación, y así sucesivamente hasta el final de la fibra y a la fibra adyacente. El impulso debe recorrer la totalidad de la fibra antes de que esta se recupere para conducir un nuevo impulso, aunque este periodo de recuperación es muy breve (milésimas de segundo).

Si la intensidad del estímulo no supera cierto umbral, no excitará al receptor sensorial y no se generará impulso nervioso.

La frecuencia de los impulsos depende de la intensidad del estímulo: a mayor nivel de excitación, mayor frecuencia. Así, un estímulo fuerte hace que se envíen al cerebro centenares de impulsos por segundo, mientras que estímulos débiles producirán pocos estímulos por segundo, y si es tan débil que está por debajo del umbral, no se enviará ninguno.

### Sinapsis interneuronales.

Cuando en un circuito neuronal los impulsos que atraviesan una neurona alcanzan la terminación del axón, encuentran un obstáculo a su progresión, que consiste en una microscópica separación física –**hendidura**– existente entre el final de esa célula y la siguiente: son las sinapsis. Pueden establecerse entre el final del axón de la célula que conduce el impulso –**neurona presináptica**–, y el cuerpo celular, o las dendritas de la que lo recibe –**neurona postsináptica**–.

Las sinapsis también tienen un cierto **umbral de excitación**: el número de impulsos por segundo necesarios

que los impulsos puedan fluir hacia la neurona siguiente.

Además de las sinapsis entre neuronas, existen también **sinapsis efectoras** (en los contactos entre neuronas y músculos) y **sinapsis receptoras** (en las uniones entre neuronas y células sensoriales).

- **ESTRUCTURA DE LAS SINAPSIS.**

Todas las sinapsis responden a un esquema común:

- **Zona presináptica**, en la neurona transmisora.

Los axones se ramifican en su extremo acabando cada terminación en un ensanchamiento denominado **botón terminal** o **sináptico**, que es la estructura que "conecta" con el cuerpo celular de la neurona siguiente. Dentro de los botones terminal existen numerosas vesículas sinápticas que contienen moléculas de un neurotransmisor que será el encargado de transmitir químicamente el impulso nervioso.

- **Hendidura sináptica.**

Separa la membrana presináptica de la postsináptica. Está ocupada por un fluido en el que vierten su contenido las vesículas sinápticas. Los neurotransmisores se difunden a través de la hendidura y se unen con los receptores de la membrana postsináptica que queda excitada.

- **Zona postsináptica**, en la neurona receptora.

La interacción de los neurotransmisores y los receptores de la membrana postsináptica produce un pequeño potencial eléctrico postsináptico. El neurotransmisor es destruido enzimáticamente a continuación, lo que previene de una estimulación indefinida.

- **LAS ACCIONES REFLEJAS.**

Una **acción refleja** es un comportamiento en el que un estímulo produce una respuesta que, al ser heredada e innata, se produce muy rápidamente, de forma involuntaria y automática, sin que tenga que intervenir el pensamiento consciente.

Un acto reflejo es la respuesta a un estímulo que recorre un **arco reflejo**.

Un arco reflejo típico se compone de:

- Un **receptor**, que puede ser un órgano sensorial de la piel, un músculo y otro órgano.
- Una **neurona sensorial** o **aferente**, que es la encargada de llevar el impulso hasta el sistema nervioso central (SNC).
- Un **centro nervioso** en el que puedan realizarse las conexiones sinápticas entre las neuronas aferentes y las de asociación.
- La **neurona motora** o **eferente**, que se encarga de exportar el impulso fuera del SNC hasta el órgano efector.
- El **efector** que es el órgano mediante el cual el animal produce la respuesta al estímulo. Efectores son los músculos y las glándulas.

Aunque al menos deben intervenir dos neuronas en un arco reflejo, una aferente y otra eferente, normalmente numerosas neuronas de asociación actúan secuenciadamente, interponiéndose entre las dos citadas.

- **EL SISTEMA NERVIOSO DE LOS INVERTEBRADOS.**

El sistema nervioso más sencillo lo presentan los **celentéreos** (medusas, hidra de agua dulce, etc.), su disposición es en forma de red de neuronas. Cualquier impulso recibido se transmite en todas direcciones.

En los **platelmintos** ya se esbozan y coordinan entre sí un sistema nervioso periférico y otro central.

En los **anélidos** (lombriz de tierra) ya existen diferenciadas neuronas sensoriales y neuronas motoras y su sistema nervioso adopta forma de escalera de cuerda.

Los **artrópodos** tienen un sistema nervioso semejante al de los anélidos en las formas más inferiores, y en cadena nerviosa ventral en especies superiores. Los ganglios cerebroides son voluminosos.

El cerebro de **insectos**, **crustáceos superiores** y **miriápodos** presenta una estructura complicada en la que se distinguen claramente tres partes.

**Gasterópodos** y **cefalópodos** presentan sistemas nerviosos más desarrollados. En estos últimos, todo el sistema nervioso central se concentra en la cabeza, forman una especie de verdadero cerebro.

Los **equinodermos** presentan un sistema nervioso bastante primitivo, sin ganglios, sin cabeza y sin cerebro.

Los **procordados cefalocordados** (anfioxo) presentan, a todo lo largo del cuerpo, un tubo nervioso dorsal y hueco, protegido por una vaina de colágeno. Cada segmento corporal está inervado por pares de nervios dorsales (sensitivos) y ventrales (motores). Su vesícula cerebral no es un auténtico cerebro.

#### • **EL SISTEMA NERVIOSO DE LOS VERTEBRADOS.**

- Con los vertebrados se alcanza la máxima complejidad del sistema nervioso.
- Su estructura básica es un cordón nervioso hueco que discurre desde la cabeza a la cola.
- Su extremo cefálico se ensancha dando las vesículas cerebrales mientras que el resto queda formando la médula espinal.

El sistema nervioso se divide anatómicamente en:

- **Sistema nervioso central (SNC)**, formado por el encéfalo y la médula espinal, que contienen la sustancia gris y la sustancia blanca.
- **Sistema nervioso periférico (SNP)**, que engloba a los nervios craneales, los nervios espinales o raquídeos y los ganglios periféricos.

#### **Sistema nervioso central (SNC).**

- La **médula espinal** está protegida por la columna vertebral y rodeada por tres membranas protectoras o **meninges**, denominadas:
  - **Duramadre**, la externa y más dura.
  - **Aracnoides**, la central, como una tela de araña.
  - **Piamadre**, la interna, muy fina.
- Las exteriores están muy irrigadas por vasos sanguíneos. Entre la aracnoides y la piamadre existe un hueco relleno por el líquido cefaloraquídeo.
- En un corte transversal de la médula se aprecian dos zonas:

- Zona interior, de **sustancia gris**, con forma de H, donde se encuentran las neuronas de asociación y los cuerpos celulares de las neuronas motoras.
- Zona exterior, que lleva la **sustancia blanca**, donde se encuentran los haces nerviosos de axones y dendritas que unen tanto los distintos niveles de la médula entre sí, como estos con el cerebro.
- Las fibras de la sustancia blanca están recubiertas por vainas de mielina, mientras que las fibras de sustancia gris no lo están.
- Los fascículos sensoriales (ascendentes) son haces de fibras que llevan los impulsos hacia el cerebro. Los fascículos motores (descendentes) conducen los impulsos procedentes del cerebro.

## 2) El **encéfalo**.

En el **cerebro** se encuentra tanto sustancia blanca como sustancia gris, pero a diferencia de la médula, la sustancia gris se coloca exteriormente a la blanca.

Partes del encéfalo de los vertebrados:

- **Telencéfalo** (cerebro anterior). Corresponde con el **cerebro** y los **lóbulos olfatorios**.
- **Diencefalo** (cerebro intermedio). Corresponde con el **tálamo**, **hipotálamo**, **hipófisis** y **espíflisis**.
- **Mesencefalo** (cerebro medio) Corresponde con los **lóbulos ópticos**.
- **Metencefalo** (cerebro posterior). Corresponde con el **cerebelo**.
- **Mielencefalo**. Corresponde con el **bulbo raquídeo**.

## **Sistema nervioso periférico (SNP).**

Se divide en:

- **Sistema nervioso periférico (SNP) somático sensorial–motor**, formado por los nervios que unen el SNC con los receptores y los efectores, es decir, que conducen los impulsos desde y hacia el SNC.

Los nervios pueden ser:

- **Espinales o raquídeos**, que salen de la médula espinal entre las vértebras.
- **Craneales**, que parten del propio encéfalo. Existen doce pares de nervios craneales en reptiles, aves y mamíferos, y diez en los demás vertebrados.
- Los nervios aferentes o sensoriales conducen los impulsos desde los receptores hacia el SNC, mientras que los eferentes o motores los dirigen hacia los efectores. Existen nervios mixtos.
- Los ganglios periféricos son concentraciones de células nerviosas situadas fuera del SNC. Cerca del encéfalo y la médula espinal se localizan los ganglios sensoriales (formados por los cuerpos celulares de neuronas sensoriales). También tienen naturaleza ganglionar el oído interno y la retina.
- **Sistema nervioso periférico (SNP) autónomo.**

Las respuestas a los estímulos no dependen del cerebro. Presenta dos subsistemas antagónicos, capaces de excitar e inhibir órganos:

- **Sistema parasimpático**: se encarga de las funciones normales del organismo, mediante la liberación de **acetilcolina**.
- Excita las glándulas salivares, el estómago, las arterias coronarias, la vejiga urinaria y los músculos constrictor del iris.

- Inhibe los esfínteres intestinales, de la vejiga urinaria y el corazón.
- **Sistema simpático:** se encarga de situaciones de emergencia, mediante la liberación de **adrenalina**.
- Excita el corazón, los vasos sanguíneos, los esfínteres intestinales, la vejiga urinaria, los músculos dilatadores del iris, etc.
- Inhibe el estómago, el intestino, las arteriolas coronarias y los músculos bronquiales.

## • LA COORDINACIÓN ENDOCRINA. LAS HORMONAS.

Tanto el sistema nervioso como el endocrino evolucionaron a partir de un sistema primitivo único, en el que los mensajeros químicos eran la forma que tenían las células primitivas de comunicarse entre sí. Organismos más complejos pudieron adoptar alguna de estas moléculas, haciéndolas funcionar como mensajeros específicos: hormonas o neurotransmisores.

## • LAS HORMONAS EN LOS VEGETALES.

Las plantas, además de luz, agua, CO<sub>2</sub> y sales minerales, necesitan para su desarrollo las llamadas sustancias de crecimiento o **fitohormonas**.

Las fitohormonas actúan en cantidades muy pequeñas y tienen efectos muy específicos. Su acción depende tanto de su concentración como de la proporción entre las diferentes hormonas actuantes.

Las fitohormonas más conocidas son:

- **Auxinas.** Estimulan el alargamiento del tallo y retardan la caída de las hojas y los frutos.
- **Giberelinas.** Producen alargamiento celular. Inducen a la floración. Provocan e interrumpen el reposo en yemas y semillas (gramíneas).
- **Citoquininas.** Inhiben el amarilleo de las hojas arrancadas. Tiene efecto opuesto a las auxinas.
- **Ácido abscísico.** Induce el letargo de las yemas invernantes y la caída de los frutos e inhibe el crecimiento.
- **Etileno.** Es un gas que liberan los frutos durante su maduración. Induce la maduración de otros frutos, hace caer las hojas marchitas. Es un regulador natural del crecimiento.

## **Fotoperiodicidad.**

Muchos animales y vegetales son capaces de reaccionar a la duración del día/noche y regular su desarrollo mediante un reloj biológico. En esto se basa la **fotoperiodicidad** o respuesta orgánica a los cambios en la cantidad de luz y oscuridad en un ciclo de 24 horas. La distinta duración de los días y las noches es la responsable del comienzo del celo en numerosos animales, como insectos, algunos gusanos, peces, aves y mamíferos.

En las plantas, el fenómeno fotoperiódico más importante es la floración. La relación entre el inicio de la floración y el número de las horas de luz permite clasificar las plantas en:

- **Plantas de día largo.** Florecen en verano, cuando el periodo de luz sobrepasa un cierto valor.
- **Plantas de día corto.** Florecen al inicio de la primavera y en otoño, cuando la duración de la luz es menor de cierto valor.
- **Plantas neutras.** Su floración es independiente de la duración del día.

## • REGULACIÓN Y COORDINACIÓN HORMONAL EN LOS ANIMALES.

El sistema endocrino es el segundo mecanismo de control que tienen los animales. Está bajo el control del



sistema nervioso. Sus agentes son unos mensajeros químicos de larga distancia llamados hormonas.

Las hormonas se producen en las glándulas endocrinas (de secreción interna) y son vertidas directamente a la sangre, difundándose por el organismo y actuando sobre partes concretas del cuerpo, activando o inhibiendo sus funciones.

Su acción es lenta debido al tiempo que se requiere para que una hormona llegue al tejido de acción, atravesando células y difundándose por los fluidos tisulares. Sin embargo, su acción es más duradera y produce un efecto sostenido.

Aunque gran cantidad de hormonas circulan a la vez por el torrente sanguíneo, sólo actúan en el sitio concreto en el momento preciso, ya que las células sobre las que ejercerá su acción la hormona, fijan esa hormona y no otra, por medio de receptores específicos. Esas células, que son insensibles a cualquier otra hormona, son las células del **órgano diana** de cada hormona.

Se reconocen los siguientes tipos de hormonas:

- **Hormonas glandulares.**
- **Hormonas tisulares.** Sintetizadas en tejidos no glandulares.
- **Neurohormonas.** Moléculas producidas por neuronas secretoras y vertidas al torrente sanguíneo o directamente sobre otro órgano.
- **Feromonas.** Sustancias liberadas al ambiente por glándulas exocrinas. Actúan entre individuos de la misma especie en los que desencadenan una respuesta específica.

#### • **LAS HORMONAS EN LOS INVERTEBRADOS.**

Muchos invertebrados presentan un sistema de coordinación tan complejo como el endocrino de los vertebrados. Son elaboradas por neuronas secretoras (**neurohormonas**) que vierten a la corriente sanguínea.

La más importante es la **ecdisona** u **hormona de la muda** que favorece las mudas y el paso a la forma adulta.

#### • **LAS HORMONAS DE LOS VERTEBRADOS.**

La glándula más importante de los vertebrados es la **hipófisis**, tanto por el número de hormonas que sintetiza, que controlan gran cantidad de procesos corporales, como por su efecto directo sobre otras glándulas endocrinas.

La **glándula tiroides** produce la **tiroxina**, que es la hormona que desempeña la más amplia variedad de funciones entre los vertebrados.

La **glándula paratiroides** es exclusiva de los tetrápodos.

Los **testículos**, controlan el desarrollo normal de los caracteres sexuales secundarios y de los órganos accesorios masculinos.

Los **ovarios** sintetizan los **estrógenos**, esenciales para el desarrollo normal del aparato reproductor de las hembras.

Las **glándulas suprarrenales** sintetizan los **glucocorticoides** que tienen la misión de estimular la formación de glucosa a partir de aminoácidos y grasas.

El **páncreas** fabrica hormonas imprescindibles para la utilización celular de la glucosa en sangre.

– NOTA: Tabla de hormonas de los vertebrados y sus funciones, en la página siguiente.

• **UTILIZACIÓN DE LAS HORMONAS EN AGRICULTURA Y GANADERÍA.**

No entra en el temario.

Algunas hormonas de los vertebrados y sus funciones:

ORIGEN	HORMONAS	FUNCIÓN		
HIPÓFISIS	Tirotropina (TSH)	Estimula al tiroides para que segregue las hormonas tiroideas.		
		Adrenocorticotropina (ACTH)	Estimula la corteza de las cápsulas suprarrenales para que segreguen hormonas esteroides.	
		Gonadotropinas	Estimula la secreción de hormonas sexuales.	
		Hormona del crecimiento (GH)	Estimula el crecimiento.	
		Vasopresina (ADH)	Produce efecto antidiurético en el riñón.	
		Oxitocina	En mamíferos, estimula las contracciones uterinas durante el parto y la producción de leche.	
	TIROIDES	Tiroxina	Estimula el crecimiento y desarrollo del sistema nervioso y control de la actividad metabólica.	
		Calcitonina	Estimula el depósito de calcio en los huesos.	
PARATIROIDES	PTH Paratohormona	Regula el nivel de calcio en sangre.		
PÁNCREAS	Insulina	Utilización de la glucosa de la sangre por los músculos y otras células.		
		Glucagón		Incrementa el nivel de glucosa en sangre (antagónico de la insulina).
	CORTEZA DE LAS CÁPSULAS SUPRARRENALES	Glucocorticoides		Control de la glucogénesis, las inflamaciones y la tensión.
		Mineralocorticoides	Reabsorción del sodio y cloro y excreción de	

			potasio por los túbulos del riñón y retención de agua.
MÉDULA DE LAS CÁPSULAS SUPRARRENALES	Adrenalina	Respuesta al estrés y a las situaciones de emergencia del organismo.	
OVARIOS	Estrógenos	Características sexuales femeninas	
		Progesterona	Transforma la mucosa uterina en mucosa secretora.
TESTÍCULOS	Andrógenos	Características sexuales masculinas.	

### • LOS CICLOS VITALES.

La perpetuación de las especies es en realidad una sucesión de ciclos vitales de organismo.

En un ciclo vital se pueden conocer cuatro fases:

- **Fase unicelular:** Suele equivaler al gameto femenino fecundado –cigoto–, aunque en los ciclos asexuales, esta etapa puede equivaler a una única espora.
- **Fase de crecimiento y desarrollo:** Es común a todos los organismos, incluyendo los unicelulares.
- **Fase de madurez:** Es muy variable de unas especies a otras.
- **Fase de reproducción:** Coincide habitualmente con la fase de madurez. Es el puente de unión entre un ciclo de vida y el siguiente.

La existencia de ciclos vitales, con la producción de descendencia que lleva implícita, hacer posible la actuación de la evolución por medio de la selección natural.

### • LOS CICLOS VITALES.

La **reproducción** es el fenómeno mediante el cual los seres vivos producen, a expensas de su propio organismo, células o grupos de células que, al separarse de este, se convierten, directa o indirectamente, en nuevos individuos.

En los seres unicelulares, todo el organismo interviene en el proceso reproductor.

En los organismos pluricelulares, la capacidad reproductora queda limitada a unas **células reproductoras** o **células germinales**; el resto del organismo pierde la capacidad reproductora o únicamente la manifiesta en procesos de regeneración (renovación de una parte del organismo o de un tejido perdido o lesionado).

Hay dos tipos de gérmenes:

- Las **esporas** o germen asexual. Originan directamente nuevos individuos.
- El **gameto** o célula sexual. Se unen por parejas de distinto sexo para formar el **cigoto**.

El **soma** representa al individuo con todos sus tejidos y órganos diferenciados. El **germen** lo constituye únicamente el conjunto de sus células germinales.

### • TIPOS DE REPRODUCCIÓN.

Existen dos modalidades principales de reproducción.

- La **reproducción asexual** o **multiplicación vegetativa**, en la que sólo interviene un individuo, que no posee partes especializadas en la reproducción. La descendencia presenta rasgos hereditarios idénticos a los del progenitor (clones).

El mecanismo que asegura la continuidad genética es la **mitosis**.

- La **reproducción sexual** o **gamética** implica la cooperación de dos individuos de distinto sexo, cada uno de los cuales suministra una célula especializada o gameto; estos dos gametos se fusionan para dar el cigoto u óvulo fecundado.

El mecanismo que permite que se produzca este proceso es la **meiosis**.

### • **LA REPRODUCCIÓN ASEXUAL.**

En los organismos unicelulares, la reproducción asexual puede llevarse a cabo por:

- **Bipartición, escisión, fisión o división binaria.** Es el mecanismo más extendido. Un individuo se divide en dos partes iguales que crecen hasta alcanzar el tamaño característico de la especie.

Se produce en moneras y protozoos (paramecios, amebas...).

- **Gemación.** En la célula, se produce un abultamiento, la **yema**, que se independiza de la célula madre tras ser ocupado por un núcleo hijo, producto de la mitosis del núcleo de la célula progenitora. Se diferencia de la bipartición en que las dos partes producidas difieren mucho en tamaño.
- **División múltiple o esporulación.** Tienen lugar varias divisiones del núcleo sin que se produzca la división del citoplasma. Cada uno de esos núcleos, rodeado de una porción de citoplasma y aislado por una membrana, constituye una espora. Estas esporas que pueden llevar flagelos, se liberan cuando la membrana de la célula madre se rompe.

Se produce en algas unicelulares y esporozoos.

### **La reproducción asexual en los organismos pluricelulares.**

En todas las plantas cormofitas se producen distintas modalidades de reproducción asexual (por gemación), debido a la existencia, en ciertas zonas de la planta, de células meristemáticas que mantienen su capacidad de división y que son formas de resistencia a las condiciones climáticas adversas.

- Los **rizomas** son tallos subterráneos y crecen por su extremo. Se producen en los helechos, gramíneas y lirios.
- En el extremo de los rizomas pueden crecer masas de tejido denominadas **tubérculos**, con sustancias alimenticias de reserva. Los tubérculos portan yemas y quedan aisladas al morir la planta madre. Se producen en la patata.
- Los **estolones** son tallos que crecen a ras de tierra, y en sus extremos, forman yemas que producen una plántula que echa raíces y da lugar a un nuevo tallo, el cual, originará otra plántula en su extremo y así sucesivamente. Se producen en la fresa.
- Los **bulbos** son yemas subterráneas con hojas desarrolladas y cargadas de sustancias de reserva. Se producen en la cebolla, el ajo, etc.

La hidra (celentéreo de agua dulce), las esponjas, los corales y los gusanos planos, como las tenias, se reproducen por **gemación**. Estas yemas, una vez que crecen se independizan y dan lugar a nuevos individuos

o permanecen unidas sobre el progenitor, formando una colonia.

La **esporulación** no se produce en animales, es propia de protoctistas, hongos y plantas.

### • **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO ASEXUAL.**

La reproducción asexual es la forma fundamental de propagación de los organismos unicelulares y un método útil para los organismos pluricelulares menos complejos, como mecanismo que origina una progenie a corto plazo e incrementa el número de individuos de la especie en poco tiempo.

Al no necesitar la concurrencia de otro sexo, puede realizarse cuando es preciso producir urgentemente un gran número de individuos para asegurar la supervivencia de la población.

Debido a que el mecanismo genético subyacente de este proceso es la mitosis, los individuos hijos son idénticos al progenitor, por lo que no existe variabilidad genética, aunque este inconveniente se compensa con la alta tasa de mutación y la alta tasa de reproducción que tiene este tipo de organismos.

### • **LA MITOSIS.**

La **mitosis** o **división celular** es el proceso por el que los organismos unicelulares se reproducen asexualmente.

Los organismos pluricelulares la utilizan para desarrollarse a partir del cigoto, para crecer o para regenerar células, tejidos u órganos.

En este tipo de división, cada célula madre produce dos células hijas que reciben una dotación exacta de cromosomas maternos, sea cual sea el número de estos.

El intervalo de tiempo que transcurre entre dos mitosis se denomina **interfase**.

Mitosis e interfase constituyen el **ciclo celular**.

En la mitosis se distinguen cuatro fases:

#### • **Profase.**

- La cromatina se organiza en filamentos denominados cromosomas.
- Se duplican los centriolos que constituyen el centrosoma. Los microtúbulos organizados alrededor de cada centrosoma forman los ásteres.
- Los centrosomas se alejan progresivamente hacia lados opuestos del núcleo.
- El conjunto de microtúbulos que se organizan entre los dos ásteres se denomina huso acromático.
- El nucleolo desaparece progresivamente.
- Los cromosomas se van acortando, se hacen cada vez más densos, y se puede observar que cada cromosoma está constituido por dos unidades longitudinales: las cromátidas.
- La membrana nuclear se desorganiza progresivamente y acaba por desaparecer, quedando los cromosomas dispersos en el citoplasma.
- Unos haces de microtúbulos denominados fibras cromosómicas, se disponen de forma perpendicular a los cromosomas, anclándose a cada lado del centrómetro.

#### • **Metafase.**

- Los cromosomas se encuentran en el máximo de su desarrollo, unidos a las fibras cromosómicas,

acaban de desplazarse hasta situarse a igual distancia de cada polo.

- Los cromosomas colocan sus centrómeros y brazos en un plano perpendicular al eje, formado por los centrosomas, y constituyen la placa metafásica o ecuatorial.

- **Anafase.**

- Se produce un desdoblamiento a nivel de centrómero, y las dos cromátidas de cada cromosoma se separan.
- Los dos lotes de cromáticas (o cromosomas hijos) resultantes se separan progresivamente y se dirigen hacia los polos.
- Los cromosomas hijos alcanzan los polos. Los microtúbulos se desorganizan.

- **Telofase.**

- Los dos conjuntos de cromátidas situados en los polos se desorganizan, pierden su individualidad y reconstituyen la cromatina.
- El nucleolo reaparece, elaborado a nivel de ciertos cromosomas.
- La membrana nuclear se reorganiza progresivamente.
- La célula tiene dos núcleos con  $2n$  cromosomas.

### Citodiéresis

- Es el proceso por el que se produce la separación de las células hijas.
- Tiene lugar al final de la telofase, y se lleva a cabo de forma diferente en las células de las plantas (que tienen pared celular de celulosa) y en las de los animales (que carecen de pared celular).

Si al final de la división celular no se produce la separación del citoplasma, se originan **células binucleadas** que, si vuelven a sufrir procesos de división nuclear, dan lugar a **células polinucleadas**.

- **LA REPRODUCCIÓN SEXUAL.**

En este mecanismo de reproducción intervienen dos individuos de distinto sexo, el macho y la hembra, en cuyos órganos sexuales se forman, a partir de células germinales, células especializadas o **gametos**.

Cuando en el proceso de fecundación, un gameto masculino y un gameto femenino se fusionan, originan una célula única: la **célula huevo** o **cigoto**. Este cigoto, tras sucesivas divisiones mitóticas, da lugar a un nuevo ser que, si bien porta caracteres de ambos progenitores, tiene características propias.

Las células somáticas de la mayoría de las especies presentan un par de cromosomas de cada tipo. Los componentes de cada uno de estos pares, denominados **cromosomas homólogos**, tienen idéntica morfología y poseen la información para el control de los mismos caracteres.

Al número total de cromosomas, que es constante para todas las células somáticas y característico de cada especie, se le denomina **número  $2n$  de cromosomas**, o **número diploide**.

Los gametos, al originarse por **meiosis**, sólo presentan un miembro de cada uno de los pares de cromosomas homólogos de las células diploides, es decir, contienen un **número haploide de cromosomas** o  **$n$  cromosomas**.

Así pues, la meiosis reduce en los gametos el número de cromosomas presentes en cada célula del organismo (número diploide =  $2n$ ) a la mitad (número haploide =  $n$ ). Por lo tanto, la misión de los gametos es reconstruir en el cigoto, con los  $n$  cromosomas maternos y los  $n$  paternos, el número cromosómico característico de cada

especie diploide.

### **La meiosis.**

La meiosis es un tipo de división celular por el cual se originan células hijas que tienen la mitad de cromosomas que la célula progenitora.

Durante la meiosis tienen lugar dos divisiones celulares sucesivas, pero una única duplicación de los cromosomas. Como consecuencia, se producen cuatro células que llevan únicamente un cromosoma de cada uno de los pares de cromosomas homólogos presentes en la célula origen. Es decir: se forman células haploides ( $n$  cromosomas) a partir de una célula diploide ( $2n$  cromosomas).

$n$

$n$

$n$

$2n$

$n$

$n$

$n$

Este proceso tiene muchos rasgos en común con la mitosis: en cada una de sus divisiones pasa por las fases de profase, metafase, anafase y telofase, se forma el huso acromático y se producen los mismos acontecimientos celulares no cromosómicos que en la mitosis.

### **• MEIOSIS Y CICLOS VITALES.**

En el ciclo vital de todo organismo pueden distinguirse dos fases en función de la existencia de un número diploide o haploide de cromosomas en sus células:

- La diplofase transcurre desde la formación del cigoto hasta que se produce la meiosis.
- La haplofase transcurre a partir de la meiosis que finalizará con la nueva formación de un nuevo cigoto.

Según el momento en el que la meiosis se lleva a cabo, pueden considerarse tres tipos de organismos o ciclos de vida:

- Haplontes: La meiosis se produce en la primera división que sufre el cigoto (meiosis inicial o cigótica). Lo son algunas algas pluricelulares y unicelulares, algunos protozoos y algunos hongos.
- Diplontes: La meiosis es el proceso que forma los gametos, únicas células haploides del ciclo de vida diplonte (meiosis terminal o gamética). Lo son la práctica totalidad de los animales, incluidos los seres humanos, bastantes algas, gran número de protozoos y ciertos hongos acuáticos.
- Diplohaplontes: Meiosis intermedia o esporogénica. Lo son todas las plantas y muchos protocistas autótrofos y hongos.

### **• VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO SEXUAL.**

La recombinación génica:

- Proporciona a la descendencia las potencialidades necesarias para que pueda enfrentarse a condiciones ambientales diferentes cuando colonice ambientes distintos al de sus padres.
- Hace que la acumulación de mutaciones favorables para una especie dada se produzca más rápidamente que en la reproducción asexual.
- Impide la acumulación de mutaciones desfavorables, que es inevitable en la reproducción asexual.

Conforme se avanza en la escala animal, puede contemplarse la aparición del **dimorfismo sexual**: los sistemas nervioso y endocrino están implicados en el proceso reproductivo y favorecen la existencia de mecanismos que aseguran mejor la fecundación.

### • **PARTENOGENESIS.**

Es un proceso reproductivo alternativo al sexual, que consiste en el desarrollo del gameto femenino sin la participación del masculino.

Algunos organismos alternan cíclicamente la partenogénesis con la reproducción sexual, fenómeno que recibe el nombre de **heterogonia**.

### • **HERMAFRODITISMO.**

Los organismos hermafroditas son aquellos que producen tanto gametos femeninos como masculinos sobre un mismo individuo.

La partenogénesis y el hermafroditismo son **vías biológicas especializadas**, que han evolucionado como respuesta a condiciones ambientales especiales.

El hermafroditismo proporciona la posibilidad de autofecundarse, aunque lo habitual es que sean dos individuos hermafroditas los que participen en la formación del cigoto: uno aporta el óvulo y el otro el espermatozoide. Este proceso se denomina **fecundación recíproca** o **fecundación cruzada**.

Es propio de:

- Anélidos como: la lombriz de tierra y la sanguijuela.
- Moluscos gasterópodos como: las babosas y los caracoles.

Los hermafroditas que se autofecundan (**hermafroditas funcionales**) producen clones de individuos idénticos.

Es propio de:

- Platelminetos parásitos.
- Peces de las familias de la dorada, el sargo, el mero y la lubina.

### • **EL ORIGEN DE LA SEXUALIDAD.**

No entra en el temario.

### • **TIPOS DE GAMETOS.**

Con relación al tamaño y forma de los gametos, se pueden distinguir tres tipos de apareamiento:

- **Isogamia:** Los gametos masculino y femenino son iguales, móviles y frecuentemente flagelados



- **Anisogamia:** Los gametos son morfológicamente iguales, aunque difieren en su tamaño y su comportamiento: uno se desplaza nadando hacia el otro.
- **Heterogamia:** Los gametos son diferentes; generalmente el femenino es más grande. Un caso extremo se produce cuando el gameto femenino es muy grande e inmóvil, y el masculino, muy pequeño y móvil, es el que se desplaza activamente para fecundarlo. Este caso de heterogamia se denomina **oogamia**.

### • **FORMACIÓN DE LOS GAMETOS EN LOS ANIMALES: LA GAMETOGENESIS.**

Se distinguen dos modalidades de gametogénesis, según se trate de la formación de los gametos masculinos o de los femeninos.

#### **Espermatogénesis.**

Es la formación de los gametos masculinos y se efectúa totalmente en los **testículos**, en el interior de los **tubos seminíferos**.

En todas las especies animales, la espermatogénesis se desarrolla de manera similar, que se puede esquematizar en cuatro fases:

#### • **Fase de multiplicación o proliferación.**

Las células madres de las espermatogonias (células germinales), situadas frente a la pared del tubo, sufren algunas mitosis que originan varias **espermátogonias**.

#### • **Fase de crecimiento.**

Las espermatogonias de la última generación sufren un ligero crecimiento y se convierten en **espermátocitos de primer orden o primarios** (diploides).

#### • **Fase de maduración o meiosis.**

Cada espermátocito de primer orden se divide en dos **espermátocitos de segundo orden o secundarios** (haploides), cada uno de los cuales se divide a su vez en dos **espermátidas**. Estas dos divisiones consecutivas constituyen el fenómeno de la meiosis.

#### • **Fase de diferenciación o espermiogénesis.**

Cada una de las cuatro espermátidas se transforma a continuación en un **espermatozoide** (haploides), mediante una fase de diferenciación llamada espermiogénesis, que consta de los siguientes procesos:

- Formación de un flagelo
- Eliminación de gran cantidad de citoplasma.
- Reorganización de los orgánulos citoplasmáticos, que implica la formación del acrosoma.
- Alargamiento y aplanamiento del núcleo.
- Disposición de las mitocondrias en espiral alrededor de la base del flagelo.

El espermatozoide queda dividido en: **cabeza, cuello, segmento intermedio y cola**.

Una vez formados los espermatozoides se liberan a la luz del tubo seminífero. Los espermatozoides, transportados pasivamente, salen del testículo y se dirigen hacia el canal del **epidídimo**, al que llegan siendo inmóviles e infértiles. Cuando salen del epidídimo (tras unos 12 días y un recorrido de 6 metros, en el caso del

hombre), ya han madurado y han adquirido la movilidad y la fertilidad.

La producción de espermatozoides es continua. La cola del epidídimo es la principal zona de almacenamiento de los espermatozoides antes de su emisión.

La duración de este proceso en el hombre oscila entre 70 y 74 días.

A todo lo largo de la pared de los tubos seminíferos se encuentran unas grandes células, las **células de Sertoli**, cuyas ramificaciones penetran entre la masa de las células reproductoras. Sus funciones son mantener la rigidez del tubo seminífero, coordinar la espermatogénesis, facilitar la liberación de los espermatozoides a la luz del tubo seminífero y segregar un fluido que permita el transporte pasivo de los espermatozoides hasta el epidídimo.

### **Ovogénesis.**

Los ovarios son unos órganos ovoides, en cuya corteza se encuentran los **folicúlos ováricos** que son unas estructuras redondeadas cuyo tamaño varía según el estado de crecimiento en el que se encuentren.

La formación de los óvulos se produce en los ovarios y sigue las fases descritas a continuación:

- **Fase de proliferación.**

Las células germinales, que se dividen activamente por mitosis, son las **ovogonias**.

- **Fase de crecimiento.**

La ovogonia la de última generación, que ya no se dividirá más, aumenta de tamaño y origina un **ovocito de primer orden (ovocito I)** (diploide). Este se rodea de ciertas células epiteliales (**células foliculares**) y forma el foliculo ovárico.

- **Fase de maduración.**

Los pequeños folicúlos situados en la periferia del ovario contienen los ovocitos I, células que se transforman en un **gameto femenino**, (óvulo) (haploide) una vez que sufren un proceso de meiosis.

- **LA FECUNDACIÓN.**

La **fecundación** es la unión del gameto masculino y el femenino para producir un huevo fecundado o **cigoto**.

Existen dos modalidades de fecundación:

- **Fecundación externa.** Propia de organismos acuáticos y de algunos terrestres (insectos y anfibios). Suele tener lugar en el medio que estos organismos habitan, una vez que se ha producido la liberación de los gametos en él.
- **Fecundación interna.** Característica de animales terrestres como los reptiles, aves y mamíferos, y algunos peces. Tiene lugar en el interior de las vías genitales de las hembras, una vez que los machos han depositado los espermatozoides en ellas, bien poniendo en contacto su cloaca con la de la hembra (aves) o bien por medio de un pene (reptiles y mamíferos).

### **La fecundación en los mamíferos.**

Durante la ovulación, uno ovarios gametos femeninos son liberados por el ovario y son captados por el

pabellón de las trompas, que recubren al ovario con sus flecos o **fimbrias**.

El ovocito, carente de movilidad, desciende por la trompa de Falopio gracias a las contracciones de esta y a los movimientos de los cilios vibrátiles que recubren su pared.

Al llegar a la parte media dilatada de la trompa (la **ampolla**), el ovocito es retenido para favorecer la espera de los espermatozoides.

Si el óvulo es fecundado, queda implantado en la mucosa uterina y comienza a crecer para convertirse en **embrión**. Si no, como sucede en los monos y los seres humanos, es expulsado del útero con la sangre menstrual.

Algunos óvulos contienen en su citoplasma una cantidad de sustancias de reserva denominadas **vitelo**. De ellas, el futuro embrión extraerá energía y las moléculas necesarias para fabricar sus estructuras.

### **La migración de los gametos masculinos.**

En el momento de la cópula, los espermatozoides, junto con el **plasma seminal**, son depositados, bien en el **útero** (como en la cerda, la rata o el ratón) o en la **vagina** (caso de la mayoría de los mamíferos).

En la mujer, los espermatozoides son proyectados al fondo de la vagina y sobre el cuello del útero. Como, por su acidez natural, la vagina les resulta un medio hostil, muchos mueren; no obstante, los supervivientes continúan avanzando y alcanzan la **mucosidad cervical** que baña el cuello del útero, que es una secreción controlada por las hormonas **estrógenos** y cuyas misiones son:

- Facilitar el paso de los espermatozoides.
- Eliminar los espermatozoides anómalos o inmóviles.
- Constituir un refugio para los espermatozoides que pueden sobrevivir en ella varios días.
- Eliminar el líquido seminal.
- Lavar los espermatozoides, proceso necesario para que estos puedan ser fecundantes.

Los espermatozoides que franquean el cuello uterino penetran en la cavidad del útero y posteriormente remontan las trompas de Falopio.

Si un ovocito, procedente de cualquiera de los dos ovarios, está a la espera, la fecundación puede tener lugar a nivel de la ampolla. Si no hay ovocitos, los espermatozoides degeneran.

El tiempo que tardan los espermatozoides en realizar este recorrido es variable, pero en cualquier caso se trata de un proceso rápido, en el que su ascensión se ve favorecida por las contracciones del útero y la trompa de Falopio.

Varios espermatozoides atraviesan a la vez las cubiertas que protegen el ovocito; no obstante, sólo uno de ellos llega a fusionar su membrana plasmática con la del ovocito. Dicha fusión desencadena una reacción que impide la penetración de los demás espermatozoides.

Únicamente penetra la cabeza y el cuello del espermatozoide: el flagelo y la parte intermedia se quedan fuera y degeneran.

Acto seguido se individualizan los núcleos de los gametos, a los que se denomina **pronúcleos**. En este momento, el huevo es una célula binucleada que contiene el número de cromosomas característico de la especie: la mitad de ellos heredados del padre, por medio de los espermatozoides, y la otra mitad heredados de la madre, a través del óvulo. La posterior fusión de los dos pronúcleos, el masculino y el femenino, originará el

conjunto de genes o **genoma** del futuro embrión.

Los **receptores específicos** situados sobre la **zona pelúcida** del ovocito, reconocen sólo a los espermatozoides de la propia especie, por las **proteínas óvulo–adherentes** presentes en la superficie de la cabeza de éste. Estas moléculas se ajustan según un modelo **llave–cerradura** y aseguran que ningún espermatozoide de otra especie fecundará al ovocito. A este mecanismo se denomina **especificidad específica**.

### • **EL ORIGEN DE CADA INDIVIDUO. PARECIDO ENTRE PARIENTES.**

(Sólo leerlo).

Todos los seres vivos comparten un origen común, en mayor o menor medida, todos son parientes.

Cada especie está compuesta por aquellos individuos que comparten determinadas características y constituyen una comunidad reproductiva. Al penetrar en el seno de cada especie se comprueba que el parecido es tanto mayor cuanto mayor es la proximidad familiar.

La genética molecular nos descubre que entre la información genética de una bacteria y la de la especie humana hay semejanzas muy notables, aunque el parentesco entre la bacteria y el ser humano sea muy lejano.

Un ser vivo se va a parecer mucho a sus progenitores. En la reproducción se transmite de padres a hijos la información necesaria para dar forma. Esa información pasa de generación a generación y, en último extremo, relaciona a todos los seres vivos que habitan y han habitado la tierra.

### • **HERENCIA Y GENÉTICA.**

(Sólo leerlo).

La información necesaria para dar forma pasa a las siguientes generaciones como el legado o **herencia** que cada ser vivo recibe.

La información que se transmite de generación en generación, es la **información genética**. Esta relación suele producir confusión entre ambos conceptos: lo genético y lo hereditario.

**Gen** es la unidad de herencia. Para la biología molecular, gen es un fragmento de ADN que contiene la información necesaria para producir (dar forma a) una proteína. Así pues, **gen es la unidad de herencia que produce la expresión de una característica observable en un ser vivo o en sus descendientes**. Es el gen, y no la característica como tal, lo que el ser vivo recibe de sus antecesores.

Otro término que puede confundirse con los anteriores es el de congénito. **Congénito** es aquello que se tiene desde el nacimiento.

### • **LOS EXPERIMENTOS DE MENDEL.**

Es universalmente reconocido que la genética nace con los trabajos de **Gregor Mendel** (1822–1884).

Mendel quiso observar si había regularidades o reglas en la transmisión de las características de una generación a la siguiente. Su hipótesis consistía en que si estas reglas se podían expresar mediante relaciones numéricas, se podrían llegar a predecir con precisión los resultados de diferentes cruzamientos.

Mendel cruzó variedades de la planta del guisante que diferían en siete características:

- Forma de la semilla:
  - Lisa
  - Rugosa
- Color de la semilla:
  - Amarillo
  - Verde
- Color del tegumento:
  - Blanco
  - Gris
- Forma de la vaina:
  - Lisa
  - Estrangulada
- Color de la vaina inmadura:
  - Verde
  - Amarillo
- Posición de las flores:
  - Axial
  - Terminal
- Longitud del tallo:
  - Largo
  - Corto

Una vez escogidas las variedades con características fácilmente observables, estudió por separado la transmisión de cada una de ellas.

Mendel controló la polinización, empleando el polen de una variedad para fecundar otra y viceversa. Así podía saber si influía el sexo en la transmisión de las características.

### • **LAS LEYES DE LA HERENCIA. EL MODELO MENDELIANO.**

El reconocimiento de los trabajos de Mendel no se produjo hasta el comienzo del siglo XX, cuando **De Vries** reformula las conclusiones de Mendel.

### • **UNIFORMIDAD DE LA PRIMERA GENERACIÓN FILIAL.**

Llamamos **carácter** a la característica o propiedad concreta de un organismo que es diferente de las de otros individuos de la misma especie. Por ejemplo: el carácter del color de la semilla de la planta del guisante puede presentar dos variantes, amarillo o verde.

- Mendel obtuvo en primer lugar **líneas puras** (mediante autofecundación), que eran aquellas en las que un carácter se conserva a lo largo de varias generaciones sin variación alguna.
- Después cruzó dos ejemplares que sólo diferían en un carácter, polinizando las flores de una variedad con el polen de la otra: fecundación cruzada.
- El cruzamiento de dos líneas puras que diferían en un carácter dio lugar a **híbridos** que eran todos iguales, para el carácter en estudio, pero que además eran iguales a uno de sus progenitores.

Este resultado se resume en el enunciado de la **Primera Ley de Mendel** o **Ley de la uniformidad**:

**Si se cruzan dos líneas puras que difieren en un carácter, la primera generación filial, es uniforme; y está formada por individuos idénticos que presentan sólo uno de los caracteres alternativos paternos.**

Al cruzar dos líneas puras de la planta del guisante que difieren en el carácter color de la semilla, que en un parental es amarillo y en el otro verde la primera generación filial está compuesta por plantas (híbridos) que presentan todas semillas de color amarillo.

Todos los descendientes son iguales entre sí y también iguales a una de las plantas parentales de las que procedan, sea cual sea la dirección del cruce.

Mendel explicó este resultado diciendo que una característica predomina sobre la otra, y propuso el término **dominante** para designar el carácter que se manifestaba en el híbrido, y **recesivo** para referirse al factor de la variante que permanecía oculto.

#### • **EL ORIGEN DE CADA INDIVIDUO. PARECIDO ENTRE PARIENTES.**

Una vez obtenida la primera generación filial, Mendel plantó los híbridos y dejó que se autofecundaran de forma natural, para obtener la segunda generación filial (F2).

Al analizar el resultado, observó, en primer lugar, que la descendencia no era uniforme y que la variante del carácter que no aparecía en la primera generación (el recesivo parental) reaparecía en la segunda, y en segundo lugar, que los valores experimentales se podían reducir a una relación numérica sencilla, a una proporción fija: un individuo recesivo por cada tres que presentaban el carácter dominante.

La interpretación de estos resultados conduce a la **Segunda Ley de Mendel** o **Ley de la segregación independiente de caracteres**.

**Los factores que se transmiten de generación en generación se separan (segregan) en los parentales y se unen al azar en los descendientes para definir las características de nuevos individuos.**

**Volviendo al color del guisante, la proporción que se observa experimentalmente es de 3:1, tres plantas con guisantes amarillos por cada planta con guisantes verdes.**

**El principio de segregación significa que los factores hereditarios o genes se heredan por separado. Un individuo es el resultado de la unión de dos gametos, cada uno de los cuales porta un gen para cada carácter.**

#### • **RETROCRUZAMIENTO.**

**Si el gen dominante impide la expresión del recesivo, cómo podremos saber si un individuo cuyo fenotipo corresponde al gen dominante es homocigótico o heterocigótico, es decir, cómo sabremos si una planta de guisantes amarillos es AA o Aa.**

**Se puede realizar un cruzamiento de prueba o retrocruzamiento, que consiste en cruzar el individuo problema con el homocigótico recesivo, cuyo genotipo se conoce con seguridad, ya que su fenotipo lo indica sin lugar a dudas. Si aparecen fenotipos determinados por genes recesivos, el individuo problema es heterocigótico. En caso contrario, es homocigótico.**

**Por ejemplo, al cruzar guisantes amarillos, que pueden ser Aa o AA, con guisantes verdes, aa, son posibles dos resultados:**

**Resultado 1: Aparecen plantas con guisantes verdes: el individuo problema es Aa.**

**Resultado 2: No aparecen plantas con guisantes verdes: el individuo problema puede ser AA.**

• **PRINCIPIO DE LA SEGREGACIÓN INDEPENDIENTE.**

Hasta ahora se ha estudiado cómo se transmite una característica. Si se tienen en cuenta dos o más características a la vez ¿influirá la herencia de una en la de otra?

Mendel probó a cruzar híbridos, esto es, progenitores que se diferenciaban en dos caracteres.

Los resultados experimentales confirmaron que la herencia de los caracteres es independiente. No hay interferencias entre la herencia de ambos. A partir de ellos se deduce la **Tercera Ley de Mendel o Ley de la distribución independiente** o de la **libre combinación de los caracteres hereditarios**. Esta ley puede enunciarse así: **Si se consideran dos caracteres simultáneamente, las segregaciones de los factores genéticos no interfieren entre sí; es decir, los factores que determinan un carácter se heredan independientemente de los que determinan el otro.**

Supongamos un cruzamiento en el que estén implicados los caracteres color y textura de los guisantes. Según el principio de segregación, cada gameto masculino podrá fecundar cualquiera de los femeninos, y estos a su vez podrán ser fecundados por cualquiera de los masculinos.

La proporción de fenotipos posibles es la siguiente:

- 9 amarillo, liso: caracteres A \_ L \_
- 3 amarillo, rugoso: caracteres A \_ ll
- 3 verde, liso: caracteres aa L \_
- 1 verde, rugoso: caracteres: aa ll

**F2**

Gametos masculinos	A L	A l	a L	a l				
Gametos femeninos								
A L	A A L L	A A L l	A a L L	A a L l				
A l	A A l l	A a l l	A a L l	A a l l				
a L	A a L L	A a L l	a a L L	a a L l				
a l	A a l l	A a l l	a a L l	a a l l				

Sumando las proporciones correspondientes a cada fenotipo, se obtiene:

**Total amarillos:**  $9 + 3 / 16 = \frac{3}{4}$

**Total verdes:**  $3 + 1 / 16 = \frac{1}{4}$

**Total lisos:**  $9 + 3 / 16 = \frac{3}{4}$

**Total rugosos:**  $3 + 1 / 16 = \frac{1}{4}$

Al llevar a cabo el cruzamiento se aprecia que los fenotipos obtenidos se encuentran en la proporción 9.3:3:1, tal y como cabría esperar al suponer que la herencia de los caracteres es independiente.

Estos resultados no se obtienen siempre, ya que no se cumple que los caracteres se encuentren en cromosomas diferentes. Hay genes que se pueden heredar entrelazados (genes ligados), al estar situados en un mismo cromosoma, su expresión puede quedar oculta por la de otro gen. Se podría concluir entonces que esta Ley de Mendel no se cumple siempre.

- **CONCLUSIONES.**

(No entra para el examen).

- **RELACIONES DE DOMINANCIA.**

En ciertos casos el fenotipo de los híbridos puede resultar intermedio entre los fenotipos de los parentales.

Existen varios tipos de relaciones entre alelos:

- **Herencia dominante (dominancia total):** El fenotipo del híbrido o heterocigótico es idéntico a uno de los parentales. Habrá un gen dominante y su alelo será el recesivo.
- **Herencia intermedia (dominancia intermedia):** El fenotipo del heterocigótico es un intermedio entre los parentales.
- **Herencia distinta (dominancia distinta):** El fenotipo del heterocigótico es un intermedio entre los parentales.
- **Codominancia:** El fenotipo del heterocigótico presenta características de ambos parentales.

- **TEORÍA CROMOSÓMICA DE LA HERENCIA.**

Estudiando los componentes celulares se observó un paralelismo entre el comportamiento de los **cromosomas** durante la meiosis y la separación de los factores genéticos mendelianos en la formación de los gametos: los genes se separan en los gametos y se unen en parejas en la fecundación, los cromosomas también.

Como fruto de esta comparación se propuso que los genes están en los cromosomas. Nació así la teoría cromosómica de la herencia (T.C.H.).

La T.C.H. se puede resumir en tres puntos:

- **Los factores hereditarios o genes están situados en los cromosomas.**

**Durante la meiosis, proceso de división para la formación de los gametos, se observan los cromosomas agrupados por parejas de homólogos.**

**Cada gen está situado en un lugar concreto del cromosoma denominado locus.**

**Si un cromosoma porta un determinado gen, su homólogo puede contar con el mismo gen o con un alelo.**

**Todos los organismos diploides poseen dos factores genéticos en el loci correspondiente de sus cromosomas homólogos.**



- **La ordenación de estos factores es lineal. Los genes se disponen uno tras otro en la línea del cromosoma.**

La disposición lineal de los genes ha permitido a la genética formal confeccionar **mapas genéticos**. Esta disposición tiene como base la estructura molecular del ADN.

- **Al fenómeno genético de la recombinación de los factores hereditarios, le corresponde el fenómeno citológico de un intercambio de material (segmentos) entre cromosomas.**

Los genes cuyo loci están en el mismo cromosoma se denominan **genes ligados**. Ello supone que la herencia del híbrido para dos caracteres sería distinta de la esperada, puesto que se heredan conjuntamente, y no por separado.

La aparición de gametos con nuevas combinaciones génicas es lo que se denomina **recombinación genética**; es la consecuencia del proceso de **sobrecruzamiento** entre cromosomas homólogos y una forma de aumentar la variación en las especies de reproducción sexual; por lo tanto, tiene una gran trascendencia en el proceso de la evolución biológica.

### **Descripción de la genética formal (Glosario).**

- **Genotipo.** Dotación genética del individuo para un determinado carácter. También se conoce como genotipo el conjunto total de genes que posee un individuo. Así, serán genotipos: AA, Aa, aa.
- **Fenotipo.** Manifestación externa del genotipo (a veces modificada por el medio ambiente). Expresión observable determinada por el genotipo, es decir, cada una de las formas posibles del carácter, lo que se ve. Así, serán fenotipos: amarillo o verde.
- **Alelo.** Cada una de las variantes génicas que determinan un carácter (lo que determina un gen). Genes alelos son los que transmiten el mismo carácter. Así, serán alelos: A, a.
- **Alelo dominante.** El que transmite un carácter que se manifiesta siempre. Se le representa con una letra mayúscula.
- **Alelo recesivo.** El que transmite un carácter que solamente se manifiesta si no está presente el alelo dominante. Se le representa con una letra minúscula, correspondiente a la del dominante.
- **Homocigótico (puro).** Individuo con el genotipo para un determinado carácter compuesto por dos alelos idénticos. Las líneas puras de Mendel son individuos homocigóticos.
- **Heterocigótico (híbrido).** Individuo que porta en el genotipo dos alelos distintos para un carácter concreto.

### **Leyes de Mendel.**

De forma clásica, las tres leyes pueden enunciarse así:

**1ª Ley: Uniformidad de la primera generación de híbridos o Ley de la dominancia de los caracteres:** en el cruzamiento de dos organismos de sendas líneas puras de una misma especie (dos organismos homocigóticos) que difieren entre sí por un par de caracteres alternativos, toda la primera generación de híbridos (F1) resultará ser uniforme y manifestará el carácter de uno de los progenitores.

**2ª Ley: Ley de la segregación:** cuando se cruzan dos descendientes de la primera generación entre sí (dos

individuos heterocigóticos), en la segunda generación se observa la segregación de los caracteres unidos en los híbridos de la primera en una proporción numérica determinada de acuerdo al fenotipo 3:1 y al genotipo 1:2.

**3ª Ley: Ley de la independencia de los caracteres y de su combinación libre en la segunda generación filial:** durante el cruzamiento de dos individuos homocigóticos que se diferencien entre sí en dos o más pares de caracteres alternativos, los genes y sus rasgos correspondientes se heredan independientemente unos de otros y se combinan de todas las maneras posibles.

A esta ley, que sólo se cumple en el caso de que los pares de genes alélicos se encuentren en diferentes pares de cromosomas homólogos, se la ha llamado también Ley de la ordenación lineal de los genes, y se enuncia así: Los genes se disponen en los cromosomas en un orden lineal ya, que sólo así son posibles el ligamiento y el entrecruzamiento.

### • VARIACIONES DEL MODELO MENDELIANO.

La herencia de muchos caracteres es muy compleja y no es posible explicarla con la aplicación directa del principio: un gen un carácter. Genes situados en distintos loci, por consiguiente no alelos, pueden interferirse si afectan al mismo carácter o a otro que esté relacionado estrechamente con él. Esto nos indica que en muchos casos existe una **interacción génica** en virtud de la cual ciertos genes interfieren o afectan a la expresión de otros.

Al conjunto de variaciones del modelo mendeliano, pero que se basan en él, se le suele denominar **mendelismo complejo**.

Los tipos de variaciones más importantes son:

- Relaciones de dominancia.
- Ligamento y recombinación.
- Epistasia.
- Alelismo múltiple.
- Genes letales.
- Herencia poligénica.
- Herencia ligada al sexo.

### • EPISTASIA.

Consiste en el enmascaramiento (supresión) del fenotipo correspondiente a un gen, llamado **hipostático**, por el fenotipo de otro, no alelo del primero, llamado **epistático**.

Supongamos el caso de una planta cuya dotación genética contiene un gen que determina la ausencia de pétalos. Otro gen intervendrá en las características de color, pero cuando no hay pétalos no se podrá observar el fenotipo que produce.

### • ALELISMO MÚLTIPLE.

Si en las poblaciones de una especie existen más variantes alélicas para un determinado locus, a este conjunto se le denomina **serie alélica**, y el fenómeno es conocido como alelismo múltiple.

### **Sistema de grupos sanguíneos ABO.**

**El sistema de grupos sanguíneos representa los antígenos que se encuentran situados en las membranas**

de los glóbulos rojos.

El sistema ABO está determinado por una serie alélica de tres genes: A, B y O. A y B son codominantes y el O es recesivo ( $A = B > O$ ).

Los genotipos y fenotipos posibles se recogen en la siguiente tabla:

GENOTIPO	FENOTIPO G° S°	ANTÍGENO (Glóbulo rojo)	ANTICUERPO (Suero)			
AA	A	A	Anti-B			
AO						
BB				B	B	Anti-A
BO						
BO	AB	A y B	–			
OO	O	–	Anti-A y Anti-B			

#### • GENES LETALES.

Existen genes en homocigosis que producirían individuos que morirían antes de nacer.

Estos genes en heterocigosis no son letales, produciendo sólo una modificación del fenotipo del individuo.

Se considera gen letal propiamente dicho aquel cuya presencia en el genotipo provoca la muerte del individuo antes de la madurez sexual, o sea, antes de la posibilidad de reproducción y consiguiente transmisión genética.

Los genes que producen defectos importantes que limitan el desarrollo normal, o la capacidad de reproducirse, sin que se llegue a la muerte se llaman genes deletéreos.

Se puede decir que todos los individuos llevamos algunos genes letales pero, al ser recesivos, no se manifiestan. El conjunto total de genes letales y genes deletéreos constituye la carga genética de una población. Es el precio de la variabilidad genética.

El que un gen letal se manifieste como tal depende en muchas ocasiones del ambiente.

Habitualmente se deben a mutaciones.

#### • HERENCIA POLIGÉNICA (también llamada herencia multifactorial).

Viene determinada por muchos genes situados en otros tantos loci diferentes que, acumulando sus pequeños efectos, influyen en el fenotipo.

La influencia del ambiente es muy importante.

La diferencia entre un carácter cuantitativo (variación continua) y un carácter cualitativo (variación discontinua):

Veamos el siguiente ejemplo. El enanismo se debe a un gen dominante. Es un carácter cualitativo ya que se es enano o no se es (variación discontinua). Sin embargo, tanto dentro de la población de enanos como de la talla normal existen numerosos valores de estatura que se distribuirán a lo largo de una

curva de variación continua, así la talla será un carácter cuantitativo.

### • **DETERMINACIÓN DEL SEXO.**

Consideramos que un individuo de una determinada especie es **macho** si aporta a la reproducción gametos pequeños y móviles, es **hembra** si los gametos que produce son grandes e inmóviles, y es **hermafrodita** si es capaz de producir ambos tipos de gametos.

Además en determinadas especies se distingue el sexo por los caracteres sexuales secundarios, tales como el plumaje de muchas aves o la distribución del pelo y la presencia de mamas desarrolladas en la especie humana, que constituyen el **dimorfismo sexual**.

**Aunque siempre existe una base genética para la determinación del sexo, en un individuo de una determinada especie se desarrollará uno u otro sexo en función de dos tipos de causas: ambientales o genéticas.**

**Determinación genética del sexo.**

**En general el sexo viene determinado genéticamente. El tipo de determinación puede ser génica o cromosómica.**

#### **Determinación génica del sexo.**

**En las abejas y avispas, la heterocigosis en el locus sexual determina el sexo femenino. Al poseer alelismo múltiple, si se fecunda el óvulo, este será con heterocigótico para el locus sexual, se desarrollará un embrión diploide y dará lugar a una hembra. El tipo de alimentación durante el desarrollo determinará si son obreras o reinas.**

**La abeja reina puede cerrar un esfínter que da paso al esperma y emitir óvulos sin fecundar que se desarrollarán haploides, dando lugar a machos. Así se forman los zánganos, que poseen un solo alelo en el locus sexual, y por lo tanto son hemicigóticos.**

#### **Determinación cromosómica del sexo.**

**Es la forma más común. En la mayoría de las especies, los genes sexuales se localizan en los cromosomas sexuales o heterocromosomas (el resto de los cromosomas se denomina autosomas o cromosomas somáticos).**

**Una pareja de cromosomas sexuales determinará el sexo. Si uno de ellos se encuentra en doble dosis (XX, por ejemplo), uno de los sexos, que en unas especies será el macho y en otras la hembra, será el sexo homogamético y producirá gametos con este cromosoma (X). El otro sexo (XY) será el sexo heterogamético y producirá unos gametos con un tipo de cromosoma (X) y otros con el otro (Y).**

**Determinación ambiental del sexo.**

**Es menos frecuente que la determinación genética.**

**En algunas especies como los cocodrilos, el sexo dependerá de la temperatura de incubación de los huevos. En otras como los anélidos marinos, son machos en la juventud mientras son hembra cuando llegan a adultos.**

### • **DETERMINACIÓN DEL SEXO EN LA ESPECIE HUMANA.**

En nuestra especie, como en el resto de los mamíferos, la determinación sexual es de tipo cromosómico.

La especie humana posee en cada célula 46 cromosomas, de los cuales 44 son autosomas y 2 son heterocromosomas o cromosomas sexuales.

La doble presencia del cromosoma X determina el sexo femenino. El varón posee en sus células dos cromosomas, el X y el Y.

El cromosoma X humano contiene numerosos genes que determinan caracteres no sexuales.

El cromosoma Y tiene menos relevancia genética por su escaso contenido en genes, la mayoría de ellos de virilidad que afectan a caracteres sexuales secundarios del varón.

En los testículos y ovarios se producirán por meiosis los gametos haploides. En el ovario se formarán óvulos con 23 cromosomas cualquiera de ellos llevará siempre el cromosoma X. Los espermatozoides producidos en el testículo aportarán también 23 cromosomas, pero la mitad llevarán el cromosoma X y la otra mitad el Y. De ahí que sea el espermatozoide el que determina el sexo del cigoto, resultado de la fecundación.

#### • HERENCIA LIGADA AL SEXO.

Los cromosomas sexuales poseen numerosos genes que afectan a caracteres que no tienen nada que ver con los sexuales. A todos los genes situados en los cromosomas sexuales se les denomina **genes ligados al sexo** y a su herencia: Herencia ligada al sexo.

En la hembra, los cromosomas X son homólogos.

En el varón, sólo un pequeño fragmento del cromosoma Y tiene su correspondiente homología con una parte del X. Podemos distinguir un segmento homólogo y un segmento diferencial en cada cromosoma sexual.

Los genes situados en el segmento diferencial de los cromosomas X o Y son genes ligados al sexo, ya que no pueden recombinarse durante la meiosis, al no presentar segmentos homólogos.

Herencia influida por el sexo.

Ciertos caracteres presentan unas frecuencias fenotípicas que no se explican con el modelo de herencia ligada al sexo, pero que tienen relación con él, puesto que se observan diferencias notables entre las distribuciones de machos y hembras. Tal es el caso de la alopecia en la especie humana.

La alopecia es un carácter autosómico determinado por una pareja alélica en la que el gen de la alopecia se comporta como dominante en el varón y como recesivo en la mujer.

Genotipo	Fenotipo		Hembra
		Varón	
C C	Calvo	Calva	
C c	Calvo	Con pelo	
c c	Con pelo	Con pelo	

#### • MUTACIONES.

Se llama **mutación** en un sentido amplio, a cualquiera cambio genético detectable y heredable.

Una **mutación** puede producirse en cualquier célula. Si se produce en una célula somática no afectará a la descendencia. Para que una **mutación** sea heredable es necesario que se produzca en gametos o en células embrionaria que den lugar a gametos.

Podemos distinguir dos grandes tipos de mutaciones:

- **Mutación génica:** es la que se refiere al cambio de un gen por su alelo. Las formas alélicas han aparecido precisamente por **mutación**.
- **Mutación cromosómica:** es la que supone un cambio en la estructura o en el número de los cromosomas.

Las **mutaciones cromosómicas** pueden ser estructurales o numéricas.

- Las **mutaciones cromosómicas estructurales** pueden ser de los siguientes tipos:
  - **Delección:** pérdida de un trozo de cromosoma.
  - **Duplicación:** repetición extra de un segmento.
  - **Inversión:** un fragmento del cromosoma cambia de sentido dentro del cromosoma (ha girado 180°).
  - **Translocación:** intercambio de fragmentos entre cromosomas no homólogos.
- Las **mutaciones cromosómicas numéricas** afectan al número de juegos cromosómicos o al número de cromosomas.

Al número de cromosomas de un juego se le denomina **número monoploide**, que, en los organismos diploides que tienen dos juegos de cromosomas coincide con el **número haploide** (número de cromosomas de los gametos).

Los individuos en los que el número total de cromosomas es un múltiplo del número monoploide son individuos **euploides**. Si poseen más de dos juegos se denominan **poliploides**.

Las **mutaciones** que afectan al número de cromosomas producen individuos **aneuploides**. Se trata de casos en los que se observan uno o varios cromosomas de más o de menos.

En las especies diploides, un cromosoma extra produce una **trisomía**. Si ha sido eliminado un cromosoma de una pareja, se trata de un caso de **monosomía**; y si ha desaparecido una pareja completa se estará ante una **nulisomía**.

MUTACIONES CROMOSÓMICAS						
Normal :		ABCDEFGH IJK	Normal :		2x	
Estructurales	Delección	ABCH IJK	Numéricas	Euploidía	Poliploides	Triploides 3x
		Duplicación				ABCDEFDEFGH IJK
		Inversión			ABCHGFEDIJK	Aneuploides
		Translocación			ABCDEF RSTUV	
					NOPQFGH IJK	

--

--	--	--

• **GENÉTICA HUMANA.**

**Herencia autosómica monogénica.**

(No entra para examen).

**Herencia ligada al sexo.**

El cromosoma X posee muchos genes que no tienen nada que ver con el sexo, genes situados en su segmento diferencial y que, por consiguiente, sólo estarán en homocigosis en el varón.

Hay dos casos muy descritos sobre herencia ligada al sexo (en el cromosoma X) en seres humanos: la hemofilia y el daltonismo.

- El daltonismo está determinado por un gen recesivo situado en el segmento diferencial del cromosoma X. Las mujeres que tienen un cromosoma X normal, pero que son portadoras de un cromosoma X daltónico, tienen visión cromática normal.
- La hemofilia está determinado por un gen ligado al cromosoma X que determina la ausencia de uno de los muchos factores que intervienen en la coagulación de la sangre.

Para que una mujer padezca la enfermedad es necesario que su padre sea hemofílico y su madre portadora. Hay que tener en cuenta que ninguno de los hijos de un varón afectado va a padecer la enfermedad, ya que el padre proporcionará siempre el cromosoma Y. En cambio sus hijas serán portadoras y tendrán una probabilidad alta (50% de varones) de hijos hemofílicos, aunque su marido sea normal. Si el marido fuera hemofílico, entonces y sólo entonces, podrán tener hijas enfermas.

Sexo	Genotipos	Fenotipos	
Mujer	X+ X+	Normal	
		X+ Xh	Normal (portadora del gen h)
		Xh Xh	Hemofílica (rara)
	Varón	X+ Y	Normal
		Xh Y	Hemofílico

**Mutaciones cromosómicas estructurales.**

(No entra)

**Mutaciones cromosómicas numéricas.**

(No entra)

• **APLICACIONES DE LA GENÉTICA. MEJORA ANIMAL Y VEGETAL.**

**Genética médica.**

**Los estudios dedicados a mitigar las enfermedades de origen genético adquieren cada vez mayor importancia.**

**Se observa una estrecha relación entre cáncer y genes (oncogenes) o virus que afectan al ADN humano.**

**Las causas del envejecimiento se están empezando a encontrar en fragmentos concretos de los cromosomas (telómeros).**

**Se ha emprendido una de las tareas más importantes en el mundo científico, la descripción completa del componente genético del ser humano: El proyecto genoma humano pretende el conocimiento de mapa genético y de la expresión de cada uno de sus genes, y son muchas las consecuencias éticas y sociales del creciente conocimiento genético.**

**Mejora animal y vegetal.**

**Desde que se comenzó a cultivar plantar y a criar animales, allá por el Neolítico, se han seleccionado numerosos caracteres que han mejorado el rendimiento de la producción agrícola y ganadera. Siempre se ha reconocido la influencia de los parentales en las características de los descendientes.**

**En la actualidad, los estudios que conducen al intento de mejora animal y vegetal son, en su mayor parte, estudios de genética cuantitativa, que se refieren a caracteres de variación continua. A través de ellos se trata de averiguar en qué medida se hereda un carácter. Un ejemplo típico es el de la producción de la leche. Parece claro que a lo largo de la historia se han seleccionado para procrear las vacas que daban mayor cantidad de lecho, pero ¿con qué toro había que cruzarlas?**

**El modelo mendeliano simple también tiene su aplicación en la mejora animal y vegetal. Un procedimiento frecuente es la obtención de líneas puras en plantas, gracias a la posibilidad de autofecundación. Cuando se encuentran dos caracteres beneficiosos en dos líneas puras de una misma planta, se hibridan para obtener las ventajas de uno y de otro y posteriormente se seleccionan líneas puras que presenten en homocigosis ambos caracteres. De esta forma se obtienen variedades que resisten a determinadas plagas.**

**Las técnicas de inseminación artificial, congelación de semen y de embriones se han aplicado en ganadería, permitiendo obtener de un animal de genotipo deseable numerosos descendientes.**

**Ingeniería genética.**

**Consiste básicamente en la modificación dirigida del genoma de una especie con el fin de producir una sustancia de interés o una característica de una especie que comporte un beneficio: resistencia a plagas, mayor tamaño de la parte aprovechable de la planta, etc.**

**En el caso de producción de sustancias beneficiosas, un gen en una bacteria a fin de producir un medicamento que costaría mucho sintetizar en el laboratorio. Así se ha conseguido que una bacteria sintetice insulina humana para el tratamiento de la diabetes.**

**En el caso de la resistencia a plagas, se transfieren genes de una especie que es resistente a la plaga, a la especie que se quiere hacer resistente. Esto es posible gracias a que todos los organismos comparten el mismo lenguaje genético (código genético) puesto que poseen el mismo tipo de moléculas que contienen información (ADN), y por lo tanto los fragmentos de ADN pueden cortarse y unirse a la cadena de ADN de otro organismo, reconociéndole este como propio. Este conjunto de técnicas se conocen como tecnología del ADN recombinante.**



**Se denomina organismo transgénico al que proviene de una célula en la que se ha introducido un fragmento de ADN extraño. Como el desarrollo se produce a través de la mitosis, todas sus células contendrán el ADN introducido.**

**La posibilidad de este tipo de manipulaciones ha abierto un campo inmenso en la agricultura, la ganadería y la medicina.**

**Existen lógicos reparos a la posible manipulación genética de células o seres humanos. El tratamiento de algunas enfermedades espera, pero es imprescindible el control social desde la perspectiva de la ética y los derechos humanos.**

Las moléculas orgánicas están formadas por:

- Ácidos nucleicos:
- ADN
- ARN
- Aminoácidos
- Proteínas
- Lípidos
- Glúcidos

Células:

- Procariotas (sin núcleo y sin apenas orgánulos)
- Eucariotas (con núcleo y cloroplastos) célula eucariota vegetal (autótrofa); utiliza la luz.
- Eucariotas (con núcleo y mitocondrias) célula eucariota animal (heterótrofa); utiliza el oxígeno.

El ADN de la mitocondria se transmite, exclusivamente, por vía materna, con el óvulo, dado que el espermatozoide no aporta mitocondrias al cigoto, además, toda su variabilidad se debe a las mutaciones al no surgir recombinación por meiosis.

El cromosoma sexual Y es el único cromosoma que (al igual que el ADN mitocondrial) se transmite por una sola vía (la paterna a los hijos) y además tampoco sufre recombinación al no tener homólogo.

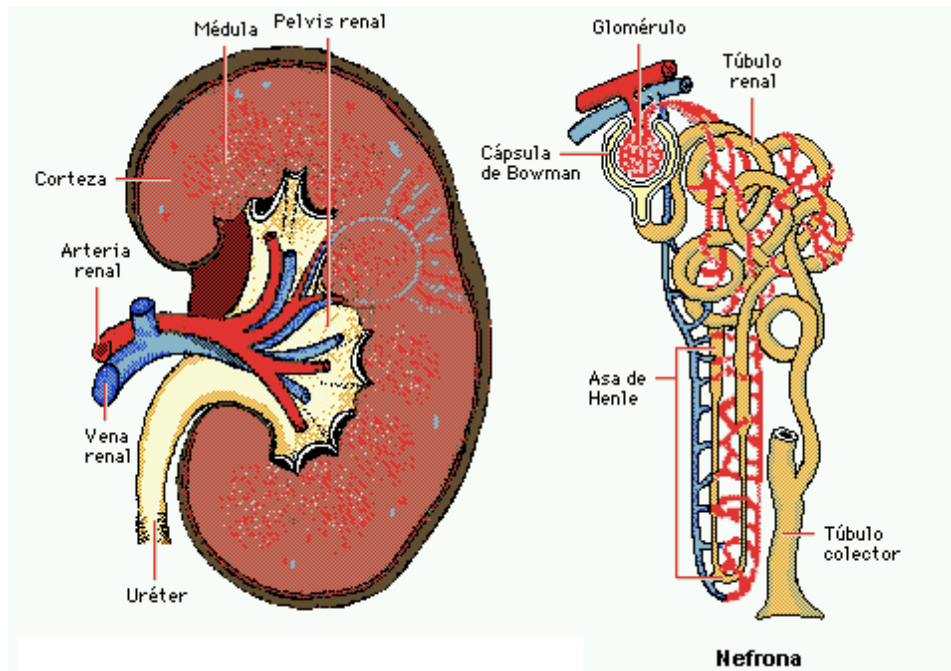
Procede de la disposición de las neuronas que componen un reflejo espinal (por ejemplo, la retirada frente a un estímulo doloroso).

Tetrápodo: vertebrado con dos pares de extremidades, como los anfibios, reptiles, aves y mamíferos

Morfológicamente, los cromosomas se observan solamente durante la división celular. Genéticamente, son unidades de información compuestas por ADN, por lo que se dice que las células de una especie poseen 2n cromosomas, sea cual sea el momento de su ciclo vital.

– 121 –

Feldespatos (ortosa)  
Moscovita  
Cuarzo



Factor hereditario que determina un

GEN

Fragmento de ADN

Enzima

Carácter

Contiene información para la síntesis de una

Controla una reacción cuyo resultado es un



A (amarillo)

a (verde)

A A x a a **P**

A a **F1**

A (amarillo)

a (verde)

A a x A a **F1**

A A A a A a a a **F2**

A (amarillo)

a (verde)

**A ? x aa**

A a x a a

A a A a a a a a

50 % 50 %

1:1

A (amarillo)

a (verde)

**A ? x aa**

A A x a a

A a A a A a A a

100 %

A – amarillo L – liso

a – verde l – rugoso

A A L L x a a l l **P**

Gametos posibles AL al

A a L l **F1**

Autofecundación A a L l x A a L l

Gametos posibles A L A L

A l A l

a L a L

a l a l

R – rosa

a – blanca

Rosa roja Rosa blanca

AA x aa

Aa

Rosa roja

R – rosa

a – blanca

Rosa roja Roja blanca

AA x aa

Aa

Rosa rosa

R – rosa

a – blanca

Rosa roja Roja blanca

AA x aa

Aa

Rosa verde

R – rosa

a – blanca

Rosa roja Roja blanca

AA x aa

Aa

Rosa roja y blanca